

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**NÚBIA LAIS FERNANDES BATISTA**

**PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA BASEADA EM INDICADORES DE  
QUALIDADE DO SOLO PARA SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO  
AGRÍCOLA**

**VITÓRIA**  
**2016**

**NÚBIA LAIS FERNANDES BATISTA**

**PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA BASEADA EM INDICADORES DE  
QUALIDADE DO SOLO PARA SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO  
AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós Graduação em Engenharia Ambiental  
da Universidade Federal do Espírito Santo,  
como requisito parcial para obtenção do  
título de mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Costa  
Teixeira.

**VITÓRIA  
2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial Tecnológica,  
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

B333p Batista, Núbia Lais Fernandes, 1989-  
Proposição de metodologia baseada em indicadores de  
qualidade do solo para sustentabilidade da produção agrícola /  
Núbia Lais Fernandes Batista. – 2016.  
121 f. : il.

Orientador: Edmilson Costa Teixeira.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Solos – Degradação. 2. Solos – Qualidade. 3. Agricultura  
sustentável. 4. Solo – Uso – Planejamento. 5. Tolerância de  
perdas de solo. 6. Taxas de perda de solo. I. Teixeira, Edmilson  
Costa. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro  
Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**“Proposição de metodologia baseada em indicadores de qualidade do solo para sustentabilidade da produção agrícola”.**

**NÚBIA LAIS FERNANDES BATISTA**

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira  
Orientador – DEA/CT/UFES

---

Prof. Dr. Daniel Rigo  
Examinador Interno - DEA/CT/UFES

---

Prof. Dr. Lineu Neiva Rodrigues  
Examinador Externo – EMBRAPA

O julgamento desta dissertação foi realizado com a participação por meio de videoconferência do **membro externo** o Prof. Dr. Lineu Neiva Rodrigues seguindo as normas prescritas na portaria normativa nº. 2/2016. Desse modo, a assinatura do membro externo é representada neste documento pela respectiva assinatura do presidente da comissão julgadora, o Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira.

Coordenador do PPGEA em exercício: Prof. Dr. Antonio Sergio Ferreira Mendonça  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
Vitória, ES, 14 de Dezembro de 2016.

Av. Fernando Ferrari, 514 Campus Universitário, Goiabeiras - Vitória - ES - CEP 29075-910 - Tel. (27) 3335 2324 - Ramal

\*5110.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelo dom da vida, por me guiar, proteger e me fazer forte em todos os momentos da minha vida. Com todo o meu amor, agradeço aos meus pais Altamiro e Rute, por serem o meu porto seguro e me ensinarem que nenhum obstáculo é maior que os meus sonhos. Obrigada por todo amor, dedicação, incentivo e por estarem sempre ao meu lado vibrando com minhas vitórias. Vocês são tudo pra mim!

Ao meu irmão Bruno, agradeço por todo carinho e por sempre torcer por mim. Obrigada pelas palavras de incentivo durante as madrugadas. Dormia sempre feliz! Agradeço a todos da minha família, por estarem sempre do meu lado!

Ao Anderson Lage, agradeço por todo amor, admiração, cuidado, incentivo, pelas demonstrações de carinho nas pequenas coisas, por toda a paciência e por compreender a minha ausência. Não foi fácil, mas vencemos!

Meus sinceros agradecimentos ao Professor Edmilson, pela orientação, apoio, pelas carinhosas palavras de incentivo e pelos valiosos conselhos. Um orientador que se preocupa com seus alunos. A sua história, seu profissionalismo e sua forma de ver a vida são exemplos para mim.

Agradeço a todos os amigos do Labgest/UFES, por me receberem tão bem e me tratarem com tanto carinho. A nossa boa convivência, nossa alegria, nossas saídas e os momentos de desabafo nos horários do café serão lembrados com muito amor. Em especial, agradeço ao Felipe Andrade pela amizade, pelo apoio nos trabalhos de campo e pelas incansáveis horas de aprendizado e descobertas durante as tentativas de rodar o modelo SWAT. À Anna Paula, por ser tão prestativa e carinhosa, agradeço pela amizade e parceria, pelas palavras de incentivo, pelas caronas diárias e pelo apoio durante todo o mestrado.

Ao Grupo de Jovens Alabanza, meus mais sinceros agradecimentos. Vocês são muito importantes para mim. Vivi intensamente todos os meus dias com vocês, fiz grandes amizades. Obrigada por serem benção e luz! À minha linda equipe de

música, agradeço por me fazerem tão bem e feliz. Em especial, agradeço aos meus Selecionadosbanza pela amizade, carinho, parceria e por tantos momentos de alegria vividos ao lado de vocês. À Julyana Buery, agradeço pela mais sincera amizade e por ter sido um anjo enviado por Deus em minha vida. Meus amigos, eu amo vocês!

Agradeço a todos os meus amigos de Dom Cavati-MG pelo incentivo e pela torcida em todas as etapas da minha vida. Mesmo distantes fisicamente, sempre se fizeram presente.

Agradeço ao Incaper, a toda equipe da Hidrometeorologia pela atenção e solicitude. Em especial, agradeço ao Jean Carlos Daré pelo apoio ao me acompanhar nos trabalhos de campo na Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego. Não poderia deixar de agradecer a todos os produtores rurais, que tão gentilmente, me receberam em suas propriedades. Foi um grande aprendizado e com certeza a participação de todos trouxe muita riqueza pra esse trabalho.

Agradeço às minhas amigas de apartamento, Laíz e Manu, pelo companheirismo, cuidado e por serem minha família em Vitória. Os debates filosóficos, os pensamentos sobre a vida, os momentos de alegria e diversão, nossos momentos musicais, tornaram os meus dias mais leves e tranquilos. Na reta final, o apoio de vocês foi uma verdadeira demonstração de amizade e companheirismo.

À turma do mestrado 2014/1 agradeço pela amizade. Em especial à Lorena Puppín, por ser minha fiel amiga e parceira nos estudos e nos momentos de lazer. À Camila Guimarães, agradeço pelas conversas, questionamentos e aprendizados nos momentos da modelagem hidrossedimentológica.

Ao PPGEA/UFES, em especial à Rose, por ser tão prestativa e cuidadosa.

Aos professores, Dr. Daniel Rigo e Dr. Lineu Neiva Rodrigues, agradeço pelas valiosas contribuições para esse trabalho.

Ao CNPq, agradeço pela concessão da bolsa de estudos.

*Tudo é do Pai, toda honra e toda glória,  
é d'Ele a vitória alcançada em minha vida.  
(Padre Fábio de Melo)*

## RESUMO

As perspectivas mundiais acerca do crescimento populacional ampliam as necessidades de produção de alimentos em todo o mundo. Aliado a isso, tem-se criado focos de tensão no meio ambiente, sobretudo em relação à degradação dos solos e escassez hídrica, que vem despertando nas últimas décadas preocupação com a qualidade do solo e sustentabilidade da produção agrícola. No Brasil, observa-se a necessidade de elaboração de estratégias de planejamento do uso dos solos de forma a minimizar os impactos decorrentes dos processos erosivos e assegurar uma produção agrícola sustentável. Metodologias de conservação utilizando indicadores de qualidade do solo possíveis de serem aplicados em escala de bacias hidrográficas têm sido bastante utilizadas. Nesse trabalho, propôs-se a elaboração de uma metodologia de avaliação dos impactos associados ao uso e ocupação dos solos e manejo agrícola utilizando o indicador “TPS-PS”, obtido através da subtração entre a taxa de perda de solo (TP) e a tolerância à perda de solo (TPS) na região de interesse da bacia hidrográfica piloto (do córrego do Sossego, em Itarana/ES – 65 Km<sup>2</sup>). Utilizando-se de modelos de simulação hidrossedimentológica, considerando cenários alternativos de uso do solo/manejo agrícola/tipo de cultura para a bacia, definidos de forma participativa em oficina de trabalho envolvendo produtores rurais da região e extensionistas de órgão agrícola estadual, bem como informações sobre suscetibilidade natural à erosão, foi possível: para cada porção de toda a bacia - diagnosticar os níveis atuais de perda de solos (PS) e de criticidade associado a essa perda (TPS-PS); para cada região da bacia em que se adotou algum cenário alternativo de uso do solo/manejo agrícola/tipo de cultura – verificar os níveis resultantes de perda de solos (PS) e de criticidade associado a essa perda (TPS-PS). O emprego da metodologia proposta resultou em significativa redução na taxa de perda de solo, contribuindo para o alcance da meta estabelecida neste estudo, de redução de produção de sedimentos na bacia. A metodologia proposta apresentou desempenho satisfatório uma vez que, por meio do indicador TPS-PS foi possível diagnosticar a bacia quanto a sua condição de criticidade em relação aos processos erosivos, propor alternativas visando à conservação dos solos, por meio de usos e manejos do solo alternativos, possibilitando o envolvimento da comunidade local e integração dos saberes.

**Palavras-chaves:** tolerância à perda de solo, taxas de perda de solo, produção agrícola sustentável, planejamento conservacionista participativo.



## ABSTRACT

The global expectation concerning the population growth leads to an increase of food production needs around the world. Furthermore, sources of stress has been created over the environment, especially related to soil degradation and water scarcity, which has been raising concern of soil quality and sustainability of agricultural production over the last decades. In Brazil, it is necessary to develop strategies for land use planning in order to minimize the impacts of erosion processes and to ensure sustainable agricultural production. In this sense, conservation methodologies using soil quality indicators that can be applied at a basin scale have been widely used. So, this work proposes a methodology to evaluate the impacts associated to land use and occupation and agricultural management using the "TPS-PS" indicator, estimated by subtracting the soil loss rate (TP) from the soil loss tolerance (TPS), which was applied to a region of interest of the pilot hydrographic basin (Córrego do Sossego in Itarana/ES - 65 km<sup>2</sup>). Using the Soil and Water Assessment Tools (SWAT) model to simulate alternative scenarios of land use / agricultural management / type of crop for the basin, it was possible to: diagnose the current levels of soil loss (PS) and its associated TPS-PS indicator for each part of the basin; verify the resultant soil loss (PS) levels and its associated TPS-PS indicator for each region of the basin in which an alternative land use / agricultural management / crop type scenario was adopted. The scenarios were participatively defined in a workshop involving regional rural producers and experts from the State Agricultural Agency, as well as information on the natural susceptibility to soil erosion. The use of the proposed methodology allowed a significant reduction of the soil loss rate, contributing to achieve the goal established in this study that was to reduce sediment production in the basin. The performance of the proposed methodology was satisfactory since, through the TPS-PS indicator, it was possible to diagnose the critical condition of the studied basin concerning the erosive processes, to propose alternatives for soil conservation, enabling the involvement of the local community and the integration of knowledge.

**Keywords:** Soil loss tolerance, soil loss rates, sustainable agricultural production, participatory conservation planning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Procedimento participativo para a redução da perda de solo.....	34
Figura 2: Valores de fator P com plantio em contorno.....	45
Figura 3: Valores de fator P com plantio em contorno.....	45
Figura 4: Mapeamento de áreas prioritárias para visitação com apoio de técnicos do Incaper. ....	50
Figura 5: Valida�o dos usos do solo e práticas conservacionistas na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego. ....	50
Figura 6: Classes de erodibilidade - Importância dos tipos de solos na ocorrência de processos erosivos.....	56
Figura 7: Classes de declividade e o seu grau de potencialidade erosiva. ....	56
Figura 8: Fluxograma da metodologia proposta nesse estudo.....	79
Figura 9: Verifica�o de usos do solo e práticas agrícolas na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.....	86
Figura 10: Oficina realizada com produtores rurais do Córrego do Sossego. ....	87
Figura 11: Oficina realizada com produtores rurais do Córrego do Sossego .....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de solos da bacia e a tolerância à perda de solo .....	53
Tabela 2: Classes de declividade e as áreas ocupadas na bacia .....	65
Tabela 3: Sub-regiões da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego e suas respectivas áreas. ....	67
Tabela 4: Tipos de solo e a área ocupada na bacia .....	68
Tabela 5: Parâmetros físico-hídricos dos solos utilizados no SWAT.....	69
Tabela 6: Usos do solo e a área ocupada na bacia.....	71
Tabela 7: Parâmetros climáticos obtidos para serem utilizado na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.....	72
Tabela 8: Classes de perda de solo e as áreas ocupadas na bacia .....	74
Tabela 9: Limites de tolerância à perda de solo e a área ocupada na bacia.....	75
Tabela 10: Características da regiões selecionadas para aplicação da estratégia	89
Tabela 11: Classes de perda de solo e as áreas ocupadas na bacia após as intervenções. ....	93
Tabela 12: Resultado das taxas de produção de sedimentos nas regiões selecionadas para aplicação da estratégia.....	94
Tabela 13: Resultados do indicador TPS-PS na região A.....	101
Tabela 14: Resultados do indicador TPS-PS na região B.....	102
Tabela 15: Resultados do indicador TPS-PS na região C.....	103
Tabela 16: Resultados do indicador TPS-PS na região D.....	103

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Localização da bacia hidrográfica do Córrego Sossego.....	37
Mapa 2: Localização da estação meteorológica de Aimorés.....	51
Mapa 3: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.....	65
Mapa 4: Sub-regiões da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego .....	66
Mapa 5: Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego .....	68
Mapa 6: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego .....	71
Mapa 7: Mapa da produção de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego .....	73
Mapa 8: Mapa de tolerância à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego .....	75
Mapa 9: Mapa do indicador balanço TPS-PS na Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego .....	77
Mapa 10: Mapa de compartimentação da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego .....	81
Mapa 11: Mapas utilizados na validação das informações em oficina com produtores rurais da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego .....	84
Mapa 12: Regiões selecionados para intervenção .....	88
Mapa 13: Produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego após intervenções. ....	92
Mapa 14: Mapa do indicador Balanço TPS-PS após intervenções .....	100

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
3.1	PRODUÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL.....	20
3.2	INDICADORES DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL.....	23
3.3	TOLERÂNCIA À PERDA DE SOLO .....	27
3.4	EROSÃO HÍDRICA E FERTILIDADE DO SOLO.....	29
3.5	PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA PARTICIPATIVO.....	32
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
4.1	IDENTIFICAÇÃO DOS INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO POSSÍVEIS DE SEREM APLICADOS EM ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA .....	35
4.2	ANÁLISE DO PROCEDIMENTO METODOLÓGICO POR MEIO DA SUA APLICAÇÃO EM BACIA HIDROGRÁFICA PILOTO. ....	36
<b>4.2.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>36</b>
4.2.1.1	Clima.....	37
4.2.1.2	Solos .....	38
<b>4.2.2</b>	<b>Seleção do modelo de predição de perda de solo para obtenção do indicador selecionado para ser aplicado na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego .....</b>	<b>38</b>
4.2.2.1	Formulação do modelo SWAT utilizada para cálculo da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego .....	40
<b>4.2.3</b>	<b>Preparação do banco de dados referentes à bacia hidrográfica do Córrego do Sossego para obtenção do indicador .....</b>	<b>47</b>
4.2.3.1	Modelo Digital de Terreno.....	48
4.2.3.2	Subdivisão da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.....	48
4.2.3.3	Mapa pedológico.....	49
4.2.3.4	Mapa de uso e ocupação do solo .....	49

4.2.3.5	Parâmetros climáticos.....	51
4.2.3.6	Cálculo da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego .....	53
4.2.3.7	Tolerância à perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.....	53
<b>4.2.4</b>	<b>Diagnóstico da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego utilizando o indicador balanço Tolerância à perda de solo (TPS) – Taxa de perda de solo (PS) .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Utilização do indicador TPS-PS para avaliação de desempenho de estratégias de produção agrícola sustentável.....</b>	<b>54</b>
4.2.5.1	Compartimentação da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego .....	55
4.2.5.2	Construção participativa de cenários alternativos para a redução da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego .....	57
<b>4.2.6</b>	<b>Simulação dos cenários alternativos para obtenção do indicador TPS-PS.....</b>	<b>58</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>60</b>
5.1	IDENTIFICAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO POSSÍVEIS DE SEREM APLICADOS EM ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA.....	60
5.2	APLICAÇÃO/VALIDAÇÃO DO EMPREGO DO INDICADOR DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL .....	64
<b>5.2.1</b>	<b>Preparação do banco de dados referentes à bacia hidrográfica do Córrego do Sossego .....</b>	<b>64</b>
5.2.1.1	Modelo Digital de Terreno .....	65
5.2.1.2	Subdivisão da Bacia Hidrográfica do Sossego pra apresentação dos resultados das simulações no modelo SWAT .....	66
5.2.1.3	Pedologia .....	67
<b>5.2.1.3.1</b>	<b>Parâmetros de solo.....</b>	<b>69</b>
5.2.1.4	Uso e ocupação do solo.....	70
5.2.1.5	Parâmetros climáticos.....	72
5.2.1.6	Diagnóstico da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.....	73
5.2.1.7	Tolerância à perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.....	74

5.2.2	Diagnóstico da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego utilizando o indicador balanço TPS-PS .....	76
5.2.3	Utilização de indicador TPS-PS para avaliação de desempenho de estratégias de produção agrícola sustentável em bacias hidrográficas .....	79
5.2.3.1	Compartimentação da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego .....	81
5.2.3.2	Construção participativa de cenários alternativos para a redução da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego .....	83
5.2.3.2.1	<i>Validação dos resultados obtidos nas simulações realizadas com o modelo SWAT.....</i>	<i>83</i>
5.2.3.2.2	<i>Seleção de áreas prioritárias de intervenção para simulação dos cenários alternativos para redução de produção de sedimentos.....</i>	<i>87</i>
5.2.3.2.3	<i>Construção de cenários alternativos de uso e manejo do solo possíveis de serem adotados nas regiões estratégicas selecionadas .....</i>	<i>90</i>
5.2.3.3	Simulação da produção de sedimentos na bacia considerando os cenários alternativos.....	92
5.2.3.4	Avaliação das simulações realizadas e da aplicabilidade do indicador TPS-PS na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.....	94
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	105
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	107
	APÊNDICE .....	120

## 1 INTRODUÇÃO

Na medida em que os países em desenvolvimento se envolvem mais na produção agrícola, crescem as preocupações de que a ampla expansão de cultivos ou rebanhos em terras sensíveis ou marginais, em combinação com aplicações indiscriminadas de fertilizantes, pesticidas e inseticidas, danifique os recursos naturais básicos e submeta os ecossistemas a pressões que ultrapassem a sua capacidade suporte. Assegurar o aumento da produção agrícola, inclusive com o reestabelecimento da capacidade produtiva de áreas degradadas, é um dos maiores desafios da agricultura para este século (ELLIOTT, 2013).

Ao lado da oferta de alimentos estão os principais entraves que inviabilizam o aumento da produção agrícola compatível com a população; dentre eles citam-se a degradação dos solos, a baixa resposta positiva da produtividade ao uso de fertilizantes e defensivos e a escassez hídrica (PAZ *et al.*, 2000).

A rápida degradação do solo sob a exploração agrícola despertou nas últimas décadas a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da produção agrícola. Para a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentos (FAO), a degradação do solo é o processo de diminuição de sua capacidade atual e potencial para produzir, qualitativa e quantitativamente, bens (colheitas agrícolas ou florestais) e serviços (segurança alimentar) (FAO, 2002).

Diante do consenso da necessidade eminente de aumentar a produção de alimentos reduzindo o impacto ambiental da agricultura é que surgiram os conceitos de sistemas agrícolas sustentáveis, nas quais as formas de produção baseiam-se na utilização de processos agroecológicos como reciclagem de nutrientes e utilização de variedades de culturas que gerem maior produtividade por unidade de insumo evitando o uso desnecessário de insumos externos, sustentando a viabilidade econômica da agricultura, além de melhorar a qualidade de vida dos agricultores (PRETTY, 2011). Segundo Dumanski et al. (1998) a gestão sustentável da terra na agricultura se baseia em cinco pilares: aumento da produtividade, redução dos riscos, proteção dos recursos naturais, prevenção da degradação do ambiente, viabilidade econômica e aceitação social.



Dentre os diversos fatores que interferem na produção agrícola, o solo possui uma posição de destaque, pois cabe a ele fornecer às plantas suporte físico, água e nutrientes (MAULE, 2001 *apud* LEPSCH, 1987).

Para se avaliar a qualidade dos solos, faz-se necessária a utilização de indicadores que, de alguma maneira, exerçam influência sobre as finalidades atribuídas aos mesmos, sejam mensuráveis e que sejam sensíveis ao ponto de mostrar diferenças em escala espacial e temporal. Tais indicadores normalmente empregados são de natureza física, química e biológica (POÇA, 2012). Do ponto de vista da produção agrícola, os indicadores físicos do solo assumem maior importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como: taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Além disso, possuem função essencial no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo (EMBRAPA, 2006).

Discussões acerca da temática da produção agrícola sustentável fomentam a busca por possíveis indicadores que sejam capazes de mensurar no campo os impactos decorrentes dos diferentes usos e manejos adotados e que auxiliem o desenvolvimento de estratégias, de forma a minimizar os prejuízos causados pela erosão dos solos e dar respostas aos agricultores, decisores políticos e consumidores sobre a eficiência e sustentabilidade da produção dos alimentos (KASSIE *et al*, 2015; SALTON *et al*, 2014; FIRBANK *et al*, 2013).

A determinação da produção de sedimentos em bacias hidrográficas é uma informação de grande importância para a gestão dos recursos hídricos podendo ser um bom indicador das condições de uso e do manejo dos solos das bacias, pois além da perda de potencial produtivo das terras, a erosão causa o assoreamento de rios e reservatórios (MORO, 2005).

Aliados ao indicador de produção de sedimentos na bacia hidrográfica, os limites de tolerância à perda de solo traduzem as características peculiares de cada tipo de solo às diferentes respostas aos processos erosivos e ao limite de perda que assegure a sua capacidade produtiva (BERTOL & ALMEIDA, 2000) além de permitir testar a eficiência dos sistemas de manejo, sem impor restrições quanto ao uso e

manejo, apenas estabelecendo padrões dentre os quais as escolhas de técnicas de manejo adotadas sejam respeitadas (MORO, 2005)

Diante do exposto, e reconhecendo-se a importância do solo para a produção agrícola sustentável e os seus indicadores, os objetivos desse trabalho foram definidos e são apresentados a seguir.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Contribuir com o avanço na promoção da produção agrícola sustentável através do emprego de indicadores de qualidade do solo por meio de metodologia participativa.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar indicadores de qualidade de solo possíveis de serem aplicados como condicionantes da produção agrícola sustentável em escala de bacia hidrográfica.

Considerando uma região piloto:

- Avaliar a aplicabilidade do emprego de indicadores de qualidade do solo no contexto da produção agrícola sustentável, tomando-se por base a distribuição espacial dos solos e combinações de uso do solo – manejo agrícola – tipo de cultura.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 PRODUÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL

Em meados da década de 70, surgia no mundo uma expressão de grande importância na agricultura, a chamada Revolução Verde. As inovações tecnológicas na agricultura para obtenção de maior produtividade agrícola através da disseminação de novas sementes, fertilização do solo, utilização de agrotóxicos e mecanização eram a base desse movimento (PRETTY, 2011). A implantação dessas novas técnicas começou a surgir na década de 40, entretanto os resultados mais expressivos foram obtidos na década de 70, onde os países aumentaram significativamente sua produção agrícola.

Os investimentos gerados a partir da Revolução Verde aumentaram significativamente a produção agrícola, contribuindo para a diminuição da pobreza, reduzindo a fome e promovendo o crescimento econômico em vários países. Entretanto, essas tecnologias de intensificação do uso dos recursos naturais resultaram em grandes perdas de biodiversidade e degradação dos solos em todo o mundo (PRETTY, 2011).

Estima-se que em 2024 a população será superior a 8 bilhões de pessoas e, em 2050 chegará a 9,5 bilhões (Organização das Nações Unidas, 2012) e apesar do aumento da produção de alimentos em todo o mundo, a crescente preocupação da sociedade com o crescimento populacional e consequente aumento da demanda por alimentos têm gerado discussões acerca da temática e isso tem resultado na busca por sistemas de produção agrícola com enfoques mais sustentáveis, rentáveis e socialmente justos (AGUIAR-MENEZES, 2004).

Diante da necessidade iminente de aumentar a produção de alimentos e garantir a segurança alimentar reduzindo os impactos ambientais na agricultura foram surgindo os conceitos de sistemas agrícolas sustentáveis, que se baseiam no uso racional dos recursos naturais (solo, água, fauna, flora, energias e minerais) e garantam a sua perpetuidade produtiva (ALENCAR *et al.*, 2013). Assegurar o aumento da produção agrícola, inclusive com o reestabelecimento da capacidade produtiva de

áreas degradadas, é um dos maiores desafios da agricultura para este século (ELLIOTT, 2013).

Diversos conceitos surgiram na tentativa de definir a sustentabilidade. Basicamente, ela está ligada à noção de durabilidade com vistas para o futuro, e sua busca é um processo contínuo e dinâmico (CÔRREA, 2007).

Para a Food and Agriculture Organization (FAO) o conceito de sustentabilidade pode ser definido como:

[...] O manejo e a conservação da base de recursos naturais, e a orientação da mudança tecnológica e institucional, de maneira a assegurar a obtenção e a satisfação contínua das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras. Tal desenvolvimento sustentável (na agricultura, na exploração vegetal, na pesca) resulta na conservação do solo, da água e dos recursos genéticos animais e vegetais, além de não degradar o ambiente, ser tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável (FAO, 1991).

O conceito de sustentabilidade é muito abrangente, por isso existem diversas abordagens de produção agrícola sustentável, mas todas se baseiam na (i) manutenção dos recursos naturais, (ii) no mínimo de impactos adversos ao meio ambiente, (iii) valorização e retorno adequado aos produtores rurais, (iv) otimização da produção das culturas e (v) satisfação das necessidades humanas das famílias e comunidades rurais (EHLERS, 1999; PRETTY, 2011)

A atividade agrícola em sua história incorporou o termo sustentabilidade. Segundo Ehlers (1996), a agricultura sustentável representa um novo padrão de desenvolvimento que respeite o meio ambiente e conserve os seus agrossistemas, através de práticas mais sustentáveis. Ainda segundo o autor, não existem práticas definidas para cada sistema agrícola, uma vez que cada um deles exigem soluções específicas levando em consideração suas características ambientais e sociais.

O quadro a seguir apresenta algumas abordagens de produção agrícola e suas principais características.

Quadro 1: Diferentes abordagens de produção agrícola

<b>Tipo de Agricultura</b>	<b>Características</b>
<b>Agricultura Orgânica</b>	O rótulo “Orgânico” indica que o alimento ou produto foi produzido com metodologia aprovada que integra práticas culturais, biológicas e mecânicas, que promove a reciclagem de nutrientes, o equilíbrio ecológico e a conservação da biodiversidade.
<b>Agricultura de Conservação</b>	Manejo agrícola que segue três princípios: minimizar revolvimento do solo, cobertura constante do solo e implementação de rotação de culturas.
<b>Agroecologia</b>	Aplicação da ecologia para projetar e gerir agroecossistemas sustentáveis.
<b>Intensificação Ecológica</b>	Uso de princípios ecológicos para projetar sistemas de produção sustentáveis semi-fechados, com uso eficiente de insumos e geração mínima de danos ao ambiente. Melhoramento genético e gestão são utilizados para processos biológicos e para conservar e proteger recursos enquanto suportam a produção.
<b>Intensificação Sustentável</b>	A produção de mais alimento em uma base sustentável com uso mínimo de novas áreas.
<b>Sistema agrícolas sustentáveis</b>	Satisfaz as necessidades de alimentos, pasto e fibras, e contribui para a produção de biocombustíveis. Melhora a qualidade ambiental e os recursos básicos. Sustenta a viabilidade econômica da agricultura. Melhora a qualidade de vida dos agricultores, trabalhadores e da sociedade como um todo.
<b>Intensificação Genética</b>	É a utilização de técnicas de manipulação genéticas para melhorar a segurança alimentar, garantindo melhores rendimentos bem como aumentando a qualidade das variedades, seja de culturas ou de animais. É a concentração de genes benéficos em variedades e espécies.  Pode apresentar apenas um objetivo, ou pode apresentar vários, como aumento da produtividade, aumento do valor nutricional, variedades e espécies mais resistentes a pragas, doenças e mudanças climáticas.

Tipo de Agricultura	Características
<b>Intensificação socioeconômica</b>	<p>É o processo de desenvolvimento de instituições inovadoras e sustentáveis na fazenda, na comunidade e entre regiões e nações como um todo. É a criação de um compasso entre meio ambiente e capital humano e social, possibilitando estilos de vida mais sustentáveis.</p> <p>O aumento da produtividade nas áreas já utilizadas atualmente requer investimentos em pesquisas e extensão agrícola, na melhoria nas estradas e acessos que levam os produtos para o mercado e a melhoria dos serviços oferecidos no campo, incluindo educação e saúde.</p>

Fonte: LABGEST (2016)

Altieri (1998) classifica a produção agrícola sustentável como o sistema que eleva a produtividade das culturas integrando equilibradamente objetivos sociais, econômicos e ambientais.

Algumas das propostas formuladas por Kitamura (1994) têm como objetivo auxiliar a prática da sustentabilidade na produção agrícola considerando: a) a necessidade de ordenamento territorial, onde se distingue as terras próprias para a agricultura, as impróprias e aquelas em que há restrições, levando em consideração as características do solo; e b) integração da experiência empírica ao conhecimento científico.

### 3.2 INDICADORES DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL

Ao entender o conceito dos sistemas agrícolas sustentáveis e suas principais características, um grande desafio é determinar se esse sistema está de fato sendo sustentável ou não. Esse processo só poderá ser feito a partir de monitoramento e avaliação (CÁCERES, 2001). No processo de avaliação da sustentabilidade, é necessário a) elaborar lista de indicadores ambientais, sociais e/ou econômicos; b) propor índices para qualificação da sustentabilidade e; c) propor metodologias de definição de critérios ou indicadores a serem utilizados nos sistemas agrícolas (MASERA; 2000).

A definição de indicadores adequados para avaliar os sistemas agrícolas sustentáveis tem sido bastante discutida, pois a escolha deve estar associada às características específicas dos sistemas com o objetivo de determinar a condição em que os parâmetros devem se manter para garantir a sustentabilidade da produção agrícola (GLIESSMAN, 2005).

Por meio dos indicadores, é possível entender e interpretar os sistemas, por mais complexos que sejam, pois eles sintetizam as informações, permitindo avaliar a situação atual, planejar o futuro e verificar se os objetivos estão sendo atingidos, tomando por base as intervenções nesses sistemas (GIRARDIN, 1994).

De modo geral, na escolha dos indicadores de sustentabilidade dos sistemas agrícolas devem ser observadas características referentes à sua mensurabilidade e facilidade de medir e monitorar, custo de obtenção, facilidade de compreensão, sensibilidade às mudanças e promoção da participação local (FERRAZ, 2003). Além disso, é necessário estabelecer a escala espacial a serem aplicados os indicadores, pois assim como os sistemas agrícolas têm suas particularidades, os indicadores também devem ser adaptáveis à realidade analisada.

Marzall e Almeida (2000) em seus estudos demonstraram que a aplicabilidade dos indicadores deve ser adequada à escala espacial e ao usuário das informações, considerando a interpretação dos indicadores. Afirmam também que para que os agricultores se sintam motivados a melhorar o manejo em suas propriedades, é necessário que os indicadores sejam compreensíveis, de modo que os agricultores reflitam sobre o impacto dos manejos adotados e o que pode ser feito para melhorar e garantir a sustentabilidade dos sistemas.

No processo de avaliação da sustentabilidade da produção agrícola, os solos assumem um papel fundamental, pois a forma como ele é utilizado influencia diretamente na sua capacidade produtiva ao longo dos anos.

O conceito de qualidade dos solos começou a ser elaborado no início dos anos 90, e percepções diferenciadas surgiram desde que o tema foi proposto. A preocupação com a qualidade dos solos foi crescendo à medida que seu uso intensivo foi



resultando em grandes áreas improdutivas. A qualidade do solo pode ser compreendida como a capacidade de um solo responder a um determinado uso, cuja eficiência depende das condições de formação, e especialmente, do manejo adotado (ZOREL, 2011).

Nos sistemas agrícolas, o monitoramento da qualidade do solo é feito de modo a assegurar que os manejos adotados no sistema garantam a produção sem degradar os solos e o ambiente (GREGORICH, 2002). Assim, um sistema de manejo poderá ser considerado sustentável se mantiver ou melhorar a qualidade do solo e do ambiente, bem como alcançar adequadas produtividades das culturas em longo prazo.

O solo deve prover uma estrutura estável e um suporte adequado para as plantas, mas não deve inibir a proliferação das raízes e a atividade da fauna. Sob esse aspecto, as condições físicas do solo são essenciais para o crescimento das culturas, já que determinam o armazenamento e o fornecimento de água, nutrientes disponíveis, oxigênio e temperatura adequada. Condições físicas do solo que permitam e/ou promovam essas respostas constituem boa qualidade física do solo (TOPP *et al.*, 1997).

No entanto, nem sempre essas condições são encontradas no campo, devido ao manejo inadequado do solo que ocasiona a sua degradação e a queda no rendimento de muitas culturas (PRADO *et al.*, 2002). A importância do manejo do solo e de sua cobertura vegetal reflete em suas características físicas, químicas e biológicas. Manejos feitos de forma inadequada podem levar à degradação do solo, e conseqüentemente a perda da qualidade e baixa produtividade.

Uma das principais conseqüências do manejo inadequado do solo é a compactação que leva à perda da sustentabilidade e à redução da produtividade (OLIVEIRA *et al.*, 2003).

A compactação da camada superficial do solo, resultante da pressão exercida pelo pisoteio animal e tráfego de máquinas agrícolas, tem demonstrado impactos negativos nas condições físicas do solo. O aumento da densidade do solo e

resistência à penetração das raízes, a diminuição da porosidade e das taxas de infiltração são indicadores físicos que são diretamente afetados pelo adensamento das camadas de solo.

Santi *et al.*, (2006) realizaram o monitoramento da compactação do solo em áreas de lavoura através do mapeamento da resistência à penetração e observaram as perdas no potencial produtivo das culturas em virtude da compactação, em que a porosidade e a permeabilidade são reduzidas, a resistência é aumentada e muitas outras mudanças estruturais do solo são afetadas devido ao pisoteio animal, tráfego intenso de máquinas e equipamentos. Balcazar (2001) avaliou a compactação dos solos sob tráfego de veículos na colheita da cana-de-açúcar e verificou a diminuição de produção em solos com maior resistência mecânica a penetração de raízes, ou seja, solos mais compactados.

Os atributos físicos comumente usados como indicadores para avaliar a qualidade dos solos baseiam-se na textura, densidade, porosidade, resistência do solo à penetração, capacidade de retenção, infiltração e transporte de água, e erosão (ALMEIDA, 2011). Segundo Reichert *et al.*, (2003), solo com boa qualidade física é aquele que permite a infiltração, retém e disponibiliza água às plantas e aos corpos d'água, e, nas camadas superficiais, responde positivamente ao manejo empregado, resistindo à degradação, permitindo as trocas térmicas e gasosas com a atmosfera e rizosfera e a expansão das raízes.

O estado de agregação do solo é de grande importância para as atividades agrícolas, uma vez que está relacionado com a sua estruturação, e consequentemente, com a aeração do solo, desenvolvimento radicular das plantas, suprimento de nutrientes, resistência do solo à penetração, retenção e armazenamento de água, resistência à erosão, dentre outros (DUFRANC *et al.*, 2004).

A produção de cobertura vegetal afeta o teor de matéria orgânica do solo que é muito importante para a sua conservação, à medida que, quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, maior também é a estabilidade dos agregados,

melhorando a estrutura do solo de forma a permitir maior infiltração, diminuindo o escoamento superficial de água (WOHLENBERG *et al.*, 2004; MELLO *et al.*, 2006).

O manejo do solo também influencia a rugosidade na superfície, constituindo-se principal fator que afeta a erosão hídrica (LEITE *et al.*, 2004). Para BEUTLER *et al.* (2003), a chuva e a enxurrada combinadas são os agentes ativos da erosão hídrica, a qual é também influenciada pela cobertura do solo, proporcionada por alguns sistemas de manejo. Dessa forma, os sistemas de manejo conservacionistas reduzem a erosão hídrica em relação aos sistemas de cultivo convencionais, pois o solo se mantém coberto por maior período de tempo, proporcionando aumento da rugosidade superficial do solo.

O manejo dos solos influencia nos atributos físicos, químicos, biológicos e mineralógicos. A importância de conhecer a distribuição espacial dos solos e seus atributos está no processo de avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade dos solos, além de contribuir para o refinamento das práticas de manejo adequadas, uma vez que os atributos do solo podem correlacionar-se espacialmente, contribuindo para o entendimento sobre as influências do manejo adotado (CORÁ, 2004).

Um bom manejo é aquele que além de aumentar a produtividade, possibilita a manutenção da fertilidade do solo, assegurando a sustentabilidade agrícola. A escolha do manejo adequado para determinado sistema deve considerar as características naturais da região.

### 3.3 TOLERÂNCIA À PERDA DE SOLO

O conceito de tolerância à perda de solo tem sido modificado ao longo do tempo. Em 1908, esse conceito foi estabelecido pela primeira vez por Chamberlin & Bennet, como sendo a relação entre a taxa média de intemperização do solo. O autor avaliou que, para se definir valores de tolerância à perda de solo, fatores como a capacidade regenerativa do solo, o tipo e estágio da erosão, redução da capacidade de armazenamento de água e perda de nutrientes devem ser considerados.

Ao longo desses anos foram discutidos diversos parâmetros relacionados à tolerância de perda de solo. O primeiro estudioso de erosão a estabelecer um conceito de tolerância à perda de solos foi Smith (1941). Segundo o autor, a taxa máxima de perda de solo seria aquela que permitisse e garantisse a manutenção da fertilidade do solo no tempo e o objetivo principal dos estudos de conservação dos solos seria manter indefinidamente a capacidade produtiva e a sua fertilidade.

Lombardi Neto & Bertoni (1975), ao analisarem sessenta e seis perfis de solo no estado de São Paulo, definiram os limites de tolerância à perda de solo considerando a profundidade do solo e a relação textural dos seus horizontes superficiais. Os limites variam de acordo com o tipo de solo, pois estes possuem características peculiares em relação à velocidade de formação e às diferentes respostas aos processos erosivos. A partir desse estudo, os autores obtiveram valores de tolerância à perda de solo variando de 4,5 a 13,4 t/ha/ano e de 9,6 a 15,0 t/ha/ano, respectivamente, para solos com B textural e com B latossólico, evidenciando valores menores de tolerância para os Argissolos. Isso porque, esse tipo de solo, apresenta pequena profundidade para o desenvolvimento radicular, e valores de tolerância mais altos para os latossolos, devido à sua maior profundidade e falta de diferença textural acentuada entre os seus horizontes. (LAGROTTI, 2000).

Para Wischmeier & Smith (1978), a tolerância à perda de solo por erosão pode referir-se ao limite de perda que mantenha a sua alta produtividade de culturas. Ao estudar os solos do estado do Pernambuco, Galindo & Margolis (1989), incluíram nos critérios o teor de matéria orgânica e o grau de permeabilidade do solo. Weill (1999) propôs uma metodologia para definir o índice de tolerância baseado em estimativas de erosão e taxas de renovação do solo.

A importância do estabelecimento desses limites de tolerância está na sua capacidade de testar a eficiência dos sistemas de manejo do solo (BERTOL & ALMEIDA, 2000). Ressalta-se que os limites de tolerância não impõe restrições quanto ao uso e manejo do solo, e sim, estabelecer limites dentro os quais as escolhas das técnicas de manejo adotadas devem ser feitas (MORO, 2005).

Apesar de serem empíricos, os métodos de estimativa de tolerância à perda de solo apresentam grande relevância nos estudos de processos erosivos. Para esse estudo, foram adotados os limites de tolerância à perda de solo definidos por Lombardi Neto & Bertoni (1975) e modificado por Mannigel et al. (2002)

Estabelecer limites de tolerância à perda de solo é nortear os esforços que devem ser feitos, considerando a capacidade suporte de cada solo, de modo que as taxas de produção de sedimentos sejam compatíveis com esses limites e garanta o uso sustentável dos solos agrícolas. Diversos trabalhos feitos com o objetivo de verificar o impacto da alteração dos usos e manejos agrícolas nas taxas de produção de sedimentos tomaram como norteador, os valores de tolerância à perda de solo (BELLINAZZI *et al.*, 1981; LAGROTI, 2000; MORO, 2005).

Moro (2005) ao simular a produção de sedimentos em bacia experimental com cultivo de cana-de-açúcar, estabeleceu os limites de tolerância para cada sub-região da bacia hidrográfica de modo a apontar usos e práticas conservacionistas para minimizar os processos erosivos e garantir a sustentabilidade da produção agrícola. Bellinazzi *et al.* (1981) em seus estudos, observaram que cerca de 80% da área cultivada do Estado de São Paulo estava sofrendo processo erosivo além dos limites de tolerância. Lagrotti (2000) em seu estudo utilizou-se das taxas de tolerância à perda de solo para calcular o risco à erosão das áreas de uma microbacia hidrográfica de São Paulo e assim estabelecer melhores usos e manejos agrícolas para a bacia.

### 3.4 EROSÃO HÍDRICA E FERTILIDADE DO SOLO

A degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, vem crescendo a cada dia, trazendo como consequência a deterioração do meio ambiente. Uma das principais causas da degradação das terras agrícolas é a erosão dos solos, que consiste no processo de desprendimento e arraste de partículas causadas principalmente pela ação da água (RIBEIRO, 2012). A erosão hídrica é fruto de um processo natural e é causada tanto pela chuva quanto pelo escoamento superficial, porém a atividade humana é grande potencializadora deste processo pelo uso intensivo, inadequado, associado à ausência de cobertura vegetal do solo.

Todo o processo de desprendimento e transporte do solo se inicia com o impacto das gotas de chuva sobre o solo e são diretamente influenciados pela intensidade e duração das chuvas, tipo do solo, cobertura vegetal e declividade do terreno e pode ser bastante acelerado pela ação humana através dos usos e manejos adotados nos solos (SILVA, 2009).

O empobrecimento do solo e o risco de desertificação são um dos piores efeitos nocivos dos processos erosivos, pois colocam em risco a produtividade agrícola e a segurança alimentar (CARVALHO, 1994).

A erosão hídrica provoca além da perda de solo, o empobrecimento do solo devido à remoção da camada do horizonte A, que é de extrema importância para as plantas, pois é rica em nutrientes, aerada e com fácil acesso da água. Além disso, a erosão do solo promove o assoreamento e a eutrofização das águas onde o material é transportado e depositado, comprometendo a qualidade das águas superficiais (BERTOL *et al.*, 2004). A taxa de erosão está diretamente relacionada às características da vertente como declividade, granulometria do material, cobertura vegetal e clima atuante (CARVALHO, 1994).

Em termos qualitativos, avalia-se a erosão hídrica a partir de propriedades do solo erodido, especialmente com respeito a sua fertilidade. Variações podem ser estimadas comparando-se as propriedades do solo antes e após a erosão. A busca por uma maior eficácia no controle da erosão é investigada a partir de diferentes medidas de prevenção e controle, localizando aquelas que melhorem ou recuperem a permeabilidade do solo e sua rugosidade superficial, ofereçam proteção mecânica à superfície do solo, promovam a manutenção da resistência dos agregados, auxiliem na redução e regularização do escoamento superficial, entre outras. A avaliação dos impactos dessas medidas no controle da erosão podem então ser utilizada na previsão do aumento da produtividade agrícola (SILVA *et al.*, 2007).

O monitoramento da erosão em toda a bacia hidrográfica é um processo que demanda muito recurso financeiro além de ser um processo demorado. Diante disso, o uso da modelagem se tornou algo extremamente necessário. Dentre as metodologias para avaliar as ocorrências e consequência da erosão hídrica dos

solos, os modelos de predição se tornam uma boa ferramenta para utilização, pois verificada a sua adequabilidade e confiabilidade, são capazes de avaliar diferentes cenários de uso e manejo do solo, em diferentes escalas temporais, sem necessidade de ir a campo (AMORIM *et al*, 2010).

Existem diversos modelos que são utilizados para estimar a produção de sedimentos em escala de bacia hidrográfica, sendo que cada tipo tem um propósito, de modo que nenhum deles pode ser aplicado pra todas as situações, por isso a escolha do modelo adequado é uma etapa muito importante. Essa escolha deve ser feita levando em consideração o objetivo a ser alcançado (UZEIKA, 2009). Citam-se alguns fatores que devem ser avaliados no processo de escolha: a) dados requeridos pelo modelo, incluindo variações espaciais e temporais; b) precisão do modelo; c) objetivos do usuário, considerando a facilidade de uso e escala; d) necessidade de capacidade computacional.

Dentre os modelos utilizados, o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) se destaca internacionalmente como sendo um dos mais utilizados. A justificativa para a grande utilização desse modelo está relacionada com a sua consistência física, uma vez que é composto por equações que descrevem as variáveis do sistema e requerem dados específicos da área de aplicação sobre vegetação, clima, relevo, propriedades do solo e seu uso e manejo. Como o modelo é acoplado a um sistema de informação geográfica, é possível espacializar os dados de entrada no modelo, facilitando a representação de bacias com alta complexidade de relevo, tipo de solo e uso do solo (MORO, 2005).

O SWAT foi desenvolvido pelo *US Department of Agriculture, Agricultural Research Service* no *Grassland, Soil and Water Research Laboratory*, em Temple no Texas, EUA em 1990, sendo de livre acesso e atualizado constantemente.

Modelos que permitem predizer as taxas de perdas de solos, como o SWAT, são boas ferramentas a serem utilizadas na gestão das bacias hidrográficas, pois permitem modelar processos físicos associados ao crescimento da vegetação, movimento da água e de sedimentos, qualidade da água, ciclagem de nutrientes, dentre outros, que podem influenciar na produtividade agrícola.

### 3.5 PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA PARTICIPATIVO

A metodologia participativa pode ser entendida como um conjunto de procedimentos e ações que permitem ao ator social participar amplamente dos processos decisórios (MATOS, 2002; SANTIN, 2003).

A participação social é definida por Ammann (1978) como o processo o qual as diversas camadas sociais tomam parte na gestão e no usufruto dos bens de uma sociedade historicamente determinada.

O planejamento participativo parte do pressuposto de que é preciso que os sujeitos do planejamento tenham consciência de sua realidade e de sua condição de oprimido e, a partir dessa compreensão, articulam ideias para transformar a realidade na qual estão inseridos. Nesse sentido afirma Gandin (1994):

[...] O planejamento participativo parte de uma leitura do mundo na qual é fundamental a ideia de que a realidade é injusta e de que essa injustiça se deve à falta de participação em todos os níveis e aspectos da atividade humana. A instauração da justiça social passa pela participação de todos no poder. Isto quer dizer que a construção de uma sociedade nova, a superação da crise, se deseja seguir no mesmo modo de falar, passa pela participação de todos. Esta participação significa não apenas contribuir com uma proposta preparada por algumas pessoas, mas representa a construção conjunta [...].

Esta maneira de planejar e atribui poder a todos, descentraliza as ações, divide as responsabilidades convertendo todos em protagonistas do planejamento e das ações desenvolvidas a partir dele; este ambiente possibilita uma condição de união e de comprometimento que dá força ao grupo (GANDIN, 1994). De acordo com Seno Cornelly (1980), o planejamento participativo constitui um processo político, um contínuo propósito coletivo, uma deliberada e amplamente discutida construção do futuro da comunidade, na qual participa ativamente todos os seus integrantes.

Turnes (2004) vê o planejamento participativo como processo que implica em representatividade social e presença atuante em todas as suas etapas, como um



processo coletivo e compartilhado do conhecimento e de tomada de decisão sobre o futuro da sociedade, assegurando o envolvimento de todos os atores sociais e a interação dos saberes populares e técnicos.

Para Rosa (2004), todo processo social (dentre os quais o planejamento participativo) é carregado de valores sociais, culturais e políticos pouco visíveis para os agentes externos, sendo esses valores os pilares de sustentação do mesmo ao longo do tempo e que norteiam as decisões e estratégias de qualquer modelo de desenvolvimento.

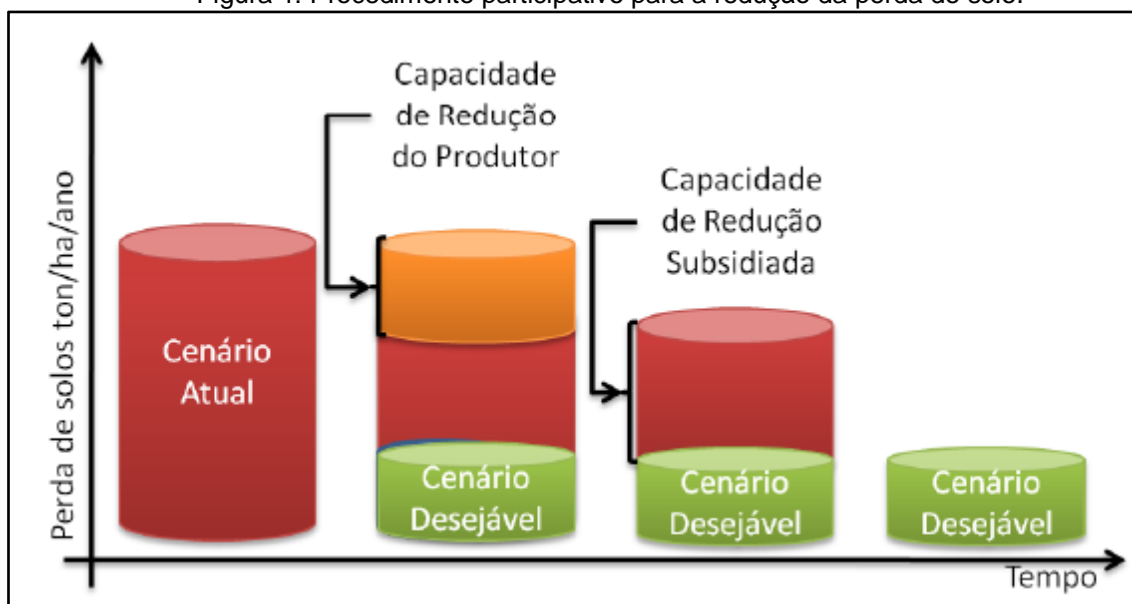
Reforçando a posição de estudiosos como Cabugueira (2000), Campanhola e Graziano (2000) e Barquero (2002) na questão da potencialidade participativa dos diversos atores sociais e da necessidade de aperfeiçoar a participação eficiente e efetiva no planejamento do desenvolvimento local Paulo Freire (1987) afirma que o homem não pode participar ativamente na história, na sociedade e na transformação da realidade, se não for ajudado a tomar consciência dessa realidade e da sua própria capacidade para transformá-la.

O planejamento conservacionista tem sido amplamente utilizado nas metodologias de conservação do solo e da água, buscando cada vez mais a participação e interação entre os envolvidos nos processos de decisão. A Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Lei 9.433/97) traz em suas prerrogativas a participação social, uma vez que ela se fundamenta nos princípios de gestão do uso múltiplo das águas e da descentralização das decisões, promovendo, assim, a participação dos setores da sociedade (poder público, os usuários e sociedade civil), relacionando-os com o processo de gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica.

A abordagem dominante no contexto internacional referente à formulação e implantação de políticas públicas enfatiza a importância da participação da sociedade civil na tomada de decisões. Esta participação deve ser vista como um instrumento importante para promover a articulação entre os atores sociais, fortalecendo a coesão da comunidade e melhorando a qualidade das decisões (FADINI, 2005).

Poloni (2010) ao desenvolver procedimento metodológico em suporte ao planejamento participativo para a redução de perda de solos em pequenas bacias hidrográficas e visando adequar a sua aplicação à realidade dos produtores rurais, estabeleceu um cenário desejável para a bacia (meta de redução de perda de solo) de modo que possibilitaria à comunidade da bacia identificar a sua capacidade de contribuir para o alcance do cenário desejado. A figura abaixo exemplifica a estratégia proposta.

Figura 1: Procedimento participativo para a redução da perda de solo.



Fonte: Poloni (2010)

Lopes (2011) ao aplicar modelo local desenvolvido em suporte à construção de estratégia de (co/auto) gestão comunitária quanto ao uso da água e manejo de irrigação na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego, observou que o ponto crucial de entendimento de como adotar estratégias apropriadas para cada local é valorizar o saber local e fazer com que a responsabilidade de resolver os problemas da bacia seja um compromisso de todas as comunidades, uma vez que, o saber local auxilia para que as estratégias e tecnologias mais apropriadas ao local sejam adotadas/ajustadas/desenvolvidas de acordo com as potencialidades sociais e naturais locais.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia será descrita de forma a atender cada objetivo específico, por isso, será dividida em duas seções: 4.1 e 4.2.

### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO POSSÍVEIS DE SEREM APLICADOS EM ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA.

O processo de identificação e seleção dos indicadores de qualidade de solo se deu por meio da avaliação de diversos trabalhos disponíveis na literatura (ALMEIDA, 2011; BEUTLER *et al.*, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2003; MAULE, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2003) que utilizaram indicadores para avaliar a sua importância na produção agrícola sustentável.

Após o levantamento dos indicadores, foram selecionados aqueles com potencial de aplicação na bacia hidrográfica piloto, considerando a disponibilidade de dados para a construção do indicador e o potencial de aplicação em escala de bacia hidrográfica.

Posto isso, os indicadores foram classificados segundo o seu grau de aplicação, sendo de curto, médio e/ou longo prazo. Estudos realizados por Labgest (2016) apontam que essa classificação está associada à forma como os dados necessários estão disponíveis e/ou ao tempo necessário à sua obtenção. Os indicadores classificados com potencial de aplicação de curto prazo foram aqueles que além de poderem ser aplicados em escala de bacia hidrográfica, existiam dados para tal; os indicadores que necessitavam de investimentos para coleta e composição do indicador para possibilitar sua aplicação em escala de bacia, em poucos anos, foram classificados como de médio prazo; já os indicadores com potencial de aplicação no longo prazo, foram aqueles que, para serem aplicados em escala de bacia, necessitariam de muitos anos de coleta e sistematização dos dados.

Com isso, para tornar viável esse projeto e a sua aplicação na bacia piloto levando-se em consideração o tempo de execução, foram selecionados os indicadores com potencial de aplicação de curto prazo.

## 4.2 ANÁLISE DO PROCEDIMENTO METODOLÓGICO POR MEIO DA SUA APLICAÇÃO EM BACIA HIDROGRÁFICA PILOTO.

Nessa seção serão apresentadas todas as etapas para a avaliação do indicador de produção agrícola sustentável em bacia hidrográfica. Além disso, descrevem-se todos os aspectos relevantes para a escolha da bacia piloto, para a determinação do indicador selecionado e para as ferramentas de simulação matemática e de obtenção de dados utilizadas nesse trabalho.

### 4.2.1 Caracterização da área de estudo

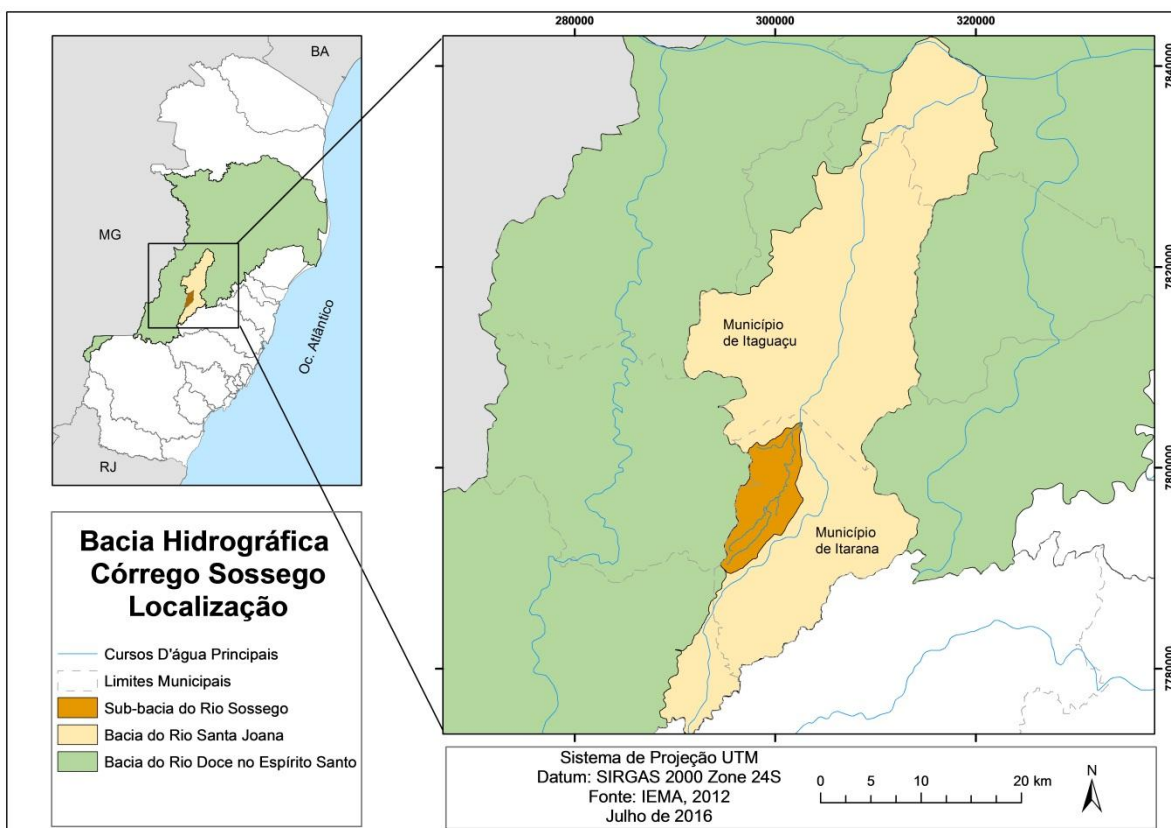
A área de estudo definida para a execução desse trabalho foi a bacia hidrográfica do Córrego do Sossego (Mapa 1). A área total de drenagem da bacia é de, aproximadamente, 65 km<sup>2</sup> e está localizada no município de Itarana/ES, na longitude 40°53' W e latitude 19°50'S, com altitude variando de 145 m a 1010 m, a 130 km de distância da capital Vitória, inserida na bacia hidrográfica do Rio Santa Joana, uma sub-bacia do Rio Doce (LABGEST, 2010). Essa área vem sendo utilizada pela Universidade Federal do Espírito Santo, desde 2002, como laboratório vivo, para o desenvolvimento de estudos de gestão integrada de recursos hídricos e desenvolvimento regional.

Dentre as pesquisas realizadas por pesquisadores da Universidade Federal do Espírito Santo na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego citam-se: GEARH (2003), que desenvolveu um projeto de desenvolvimento de instrumento para a gestão dos recursos hídricos do norte do Estado do Espírito Santo; Poloni (2010), que desenvolveu e aplicou procedimento metodológico de suporte ao planejamento participativo para a redução de perda de solo em pequenas bacias hidrográficas com o emprego da EUPS; Lima (2013), que avaliou métodos de manejo de irrigação em pequenas propriedades rurais de base familiar; Guerra (2014), que em seu estudo,

buscou aprimorar o manejo da irrigação de consórcios agroflorestais em situação de escassez hídrica.

A bacia do Córrego do Sossego se caracteriza pelo desenvolvimento de atividades predominantemente rurais em propriedades agrícolas de base família (GEARH, 2003), e tem um papel significativo na produção agrícola da região, pois abastece regiões no entorno, bem como a região da Grande Vitória.

Mapa 1: Localização da bacia hidrográfica do Córrego Sossego.



#### 4.2.1.1 Clima

A classificação climática da área de estudo, segundo Köppen-Geiger (1936) é clima tropical com estação seca no período do inverno – Aw, apresentando temperatura média mensal superior a 18°C, com pelo menos um mês do ano com precipitação média total inferior a 60 mm. As temperaturas médias máximas variam entre 28,3 e 33,1°C e as médias mínimas entre 16,2 a 21,8°C (DARÉ, 2013).

#### 4.2.1.2 Solos

Os mapeamentos pedológicos disponíveis para a área de estudo foram realizados pelo Projeto RADAMBRASIL (1987) e GEARH-NES (2003). Poloni (2010), a partir das informações existentes, e verificando diferenças e distorções dos limites das classes de solo, elaborou um novo mapa, remodelando os contornos das classes de solo diagnosticadas através de análises físico-químicas e de perfis de solo feitas por GEARH-NES (2003). A região é composta por Argissolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos Flúvicos e Litólicos.

#### **4.2.2 Seleção do modelo de predição de perda de solo para obtenção do indicador selecionado para ser aplicado na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego**

A ferramenta selecionada para obtenção das taxas de produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego foi o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), da interface ArcView. O modelo permite simular e predizer os processos erosivos e seus impactos a partir de diferentes cenários, adotando-se diferentes práticas de manejo agrícola e mudanças no uso dos solos na bacia hidrográfica, para verificar a interferência na capacidade produtiva dos solos e qualidade dos recursos hídricos (UZEIKA, 2009). A sua capacidade de simular bacias de diferentes dimensões e particularidades, sua consistente base física, a facilidade de uso de sua interface gráfica, e de requerer dados relativamente simples e de fácil obtenção, foram as principais razões para a escolha desse modelo.

Além disso, o SWAT tem sido aplicado em bacias hidrográficas com ausência de dados para comparação entre dados medidos e simulados, entretanto, mesmo apresentando restrições quantitativas, qualitativamente ele possibilita a orientação dos órgãos de gestão ambiental na tomada de decisão em relação às práticas de uso e manejo dos solos, sendo possível verificar a redução dos impactos ambientais na agricultura e nos recursos hídricos (UZEIKA, 2009). No Brasil, diversos autores fazem uso do modelo, dentre eles citam-se: Machado *et al.* (2003), Machado e Vettorazzi (2003), Moro (2005), Baldissera (2005), Lopes (2008), Uzeika (2009), Neto (2011) e Oliveira *et al.* (2014).

O SWAT possui uma estrutura de comandos para propagar o escoamento, sedimentos e agroquímicos através da bacia. Os principais componentes do modelo são clima, hidrologia, temperatura e propriedades do solo, desenvolvimento de plantas, nutrientes, pesticidas, e o manejo do solo. Uma extensão ArcGIS-ArcView, chamada de ArcSWAT, foi criada para o modelo SWAT. O componente hidrológico do modelo inclui sub-rotinas de escoamento superficial, percolação, fluxo lateral sub-superficial, fluxo de retorno do aquífero raso e evapotranspiração (MORO, 2005). O modelo requer dados diários de precipitação, temperaturas máxima e mínima do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa.

O modelo além de permitir que diferentes processos físicos sejam simulados em uma bacia hidrográfica, ele permite subdivisões na bacia, as sub-regiões, de modo a considerar os diferentes tipos de solos, cobertura vegetal, topografia e uso do solo, preservando os parâmetros espacialmente distribuídos da área total da bacia e as características homogêneas dentro da mesma (ROCHA, 2013). Cada sub-bacia é parametrizada pelo modelo utilizando uma série de Unidades de Resposta Hidrológica (HRU's), que são partes da sub-região e possuem características homogêneas no que diz respeito à vegetação, tipo de solo, as condições climatológicas e hidrológicas (MORO, 2005).

A estrutura do modelo é baseada em comandos para propagar o escoamento, os sedimentos e os produtos agroquímicos pela bacia, e foram organizados em oito componentes principais: hidrologia, clima, solos, processos de erosão/sedimentação, crescimento vegetal, nutrientes, pesticidas e manejo agrícola (LOPES, 2008).

Os dados de entrada requeridos pelo modelo (planos de informação cartográficos – PI's e dados tabulares) são inseridos através de uma interface apropriada. Os PI's necessários para o funcionamento do SWAT são: Modelo Digital de Terreno (MDT), hidrografia, mapa de solos e de uso e coberturas do solo, informações referentes a dados meteorológicos como a precipitação, temperaturas máxima e mínima, radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa e dados de solo.

#### 4.2.2.1 Formulação do modelo SWAT utilizada para cálculo da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

A seguir serão apresentadas todas as equações utilizadas pelo modelo SWAT para obtenção da taxa de produção de sedimentos na bacia em estudo.

- **Balanço Hídrico**

Neitsch *et al.* (2002) ao descrever o modelo SWAT, apresenta o sistema hidrológico, que se compõe de quatro volumes de controle: (a) reservatório superficial; (b) reservatório subsuperficial; (c) reservatório subterrâneo - aquífero raso ou livre; e (d) reservatório subterrâneo - aquífero profundo.

A contribuição dos reservatórios para o escoamento superficial se dá por meio do escoamento lateral proveniente do escoamento lateral do perfil do solo e do escoamento de retorno do aquífero raso. O volume que percola do reservatório subsuperficial através do perfil de solo representa a recarga do aquífero raso. A água que percola para o aquífero profundo não retorna para o sistema. O balanço hídrico descrito é representado pela seguinte equação:

$$SW_t = SW + \sum_{t=1}^t (R_t - Q_t - ET_t - P_t - QR_t) \quad (4.1)$$

onde,  $SW_t$  representa o conteúdo final de água no solo (mm),  $SW$  é o conteúdo de água no solo disponível para as plantas, definido como a diferença entre a umidade de capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (mm),  $t$  é o tempo (dias),  $R_t$ ,  $Q_t$ ,  $ET_t$ ,  $P_t$ ,  $QR_t$  representam a precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração, percolação e fluxo de retorno (ascensão capilar) em mm, respectivamente.

- **Aporte de Sedimentos**

O aporte de sedimentos no modelo SWAT é estimado através da Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE (WILLIAMS, 1975), a qual se baseia na Equação Universal de Perda de Solo – USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1965). A



principal diferença entre as equações consiste na substituição do fator energia cinética da chuva (R) da USLE por um fator de escoamento (WILLIAMS, 1975), gerado com base no volume escoado e na vazão de pico. A substituição desses fatores proporciona resultados mais precisos e a equação pode ser aplicada em eventos de chuvas individuais (ARNOLD & WILLIAMS, 2000). Assim, o SWAT utiliza a MUSLE para calcular o aporte de sedimentos em cada HRU (Unidade de Resposta Hidrológica). A MUSLE é representada pela seguinte equação:

$$sed = 11,8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG \quad (4.2)$$

onde, sed representa o aporte de sedimentos (ton),  $Q_{surf}$ : representa o volume de escoamento superficial (mm/ha),  $q_{peak}$  é a vazão de pico ( $m^3/s$ ),  $area_{hru}$  é a área da unidade de resposta hidrológica (HRU) (ha),  $K_{USLE}$  é o fator erodibilidade – representa as diferenças na suscetibilidade natural dos solos à erosão,  $C_{USLE}$ ,  $P_{USLE}$ ,  $LS_{USLE}$  e  $CFRG$  representam os fatores de uso e manejo do solo, práticas conservacionistas, topográfico e fator de aspereza, respectivamente, sendo todos adimensionais. A seguir, serão apresentados todos os termos da MUSLE, separadamente.

- **Escoamento Superficial**

Segundo Neitsch *et al.* (2002), o modelo utiliza uma formulação do Método da Curva Número (CN), do Soil Conservation Service - SCS (Estados Unidos, 1972), para calcular o escoamento superficial da classe, uso e manejo do solo:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0,2S)^2}{R_{day} + \leq 0,2S}, R_{day} > 0,2S \quad (4.3)$$

$$Q_{surf} = 0, R_{day} \leq 0,2S \quad (4.4)$$

onde,  $Q_{surf}$  é o volume de escoamento superficial (mm/ha),  $R_{day}$  é a precipitação de 24 horas (mm) e S representa o parâmetro de retenção (adimensional).

O parâmetro de retenção varia: (a) espacialmente, em função dos diferentes tipos de solo, uso e manejo do solo e declividade; e, (b) com o tempo, em função das alterações de umidade do solo. Esse parâmetro está relacionado com a Curva Número pela seguinte equação:

$$S = 25,4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (4.5)$$

onde, CN é o valor da curva número (adimensional).

Os valores de CN variam de 1 a 100, sendo que C1 é utilizado para solos secos, C2 quando a quantidade de água retida cessa quando o solo está saturado e C3 para solos saturados.

Os valores de são calculados e corrigidos através das seguintes equações:

$$CN_1 = CN_2 - \frac{20 \cdot (100 - CN_2)}{100 - CN_2 + \exp[2,533 - 0,0636 \cdot (100 - CN_2)]} \quad (4.6)$$

$$CN_3 = CN_2 \cdot \exp [0,00673 \cdot (100 - CN_2)] \quad (4.7)$$

- **Vazão de Pico**

O modelo SWAT utiliza o Método Racional para calcular a vazão de pico (Neitsch *et al.*, 2002).

$$q_{peak} = \frac{\alpha_{tc} \cdot Q_{surf} \cdot \text{Área}}{3,6 \cdot t_{conc}} \quad (4.8)$$

Onde,  $q_{peak}$  é a vazão de pico ( $m^3/s$ ),  $\alpha_{tc}$  representa a fração da precipitação diária que ocorre durante o tempo de concentração,  $Q_{surf}$  é o volume de escoamento superficial (mm/ha), Área representa a área da bacia ( $km^2$ ) e  $t_{conc}$  é o tempo de concentração da bacia (h).

- **Fator de Erodibilidade do Solo**

O fator K de erodibilidade do solo representa a suscetibilidade do solo em ser erodido, e é dado pelas características de cada solo. Wischmeier *et al.* (1971) desenvolveram a seguinte expressão para calcular o fator erodibilidade do solo:

$$K_{USLE} = \frac{0,00021 \cdot M^{1,14} \cdot (12-OM) + 3,25 \cdot (c_{soilstr}-2) + 2,25 \cdot (c_{perm}-3)}{100} \quad (4.9)$$

onde,  $K_{USLE}$  é o fator erodibilidade, M é o parâmetro de tamanho de partícula (adimensional), OM é a porcentagem de matéria orgânica (%),  $c_{soilstr}$  é o código usado para classificar a estrutura do solo e  $c_{perm}$  é o código para classe de permeabilidade do solo.

O parâmetro de tamanho de partícula é calculado por:

$$M = (m_{silt} + m_{vfs}) \cdot (100 - m_c) \quad (4.10)$$

onde,  $m_{silt}$  representa a porcentagem de silte (0,002 – 0,05 mm de diâmetro),  $m_{vfs}$  a porcentagem de areia fina (0,05 – 0,10 mm de diâmetro) e  $m_c$  a porcentagem de argila (<0,002 mm de diâmetro).

A porcentagem de matéria orgânica pode ser calculada por:

$$OM = 1,72 \cdot C_{org} \quad (4.11)$$

onde,  $C_{org}$  é a porcentagem de carbono orgânico presente na camada de solo analisada.

- **Fator de Uso e Cobertura do solo**

O fator de uso e manejo do solo reflete a relação esperada entre as perdas de solo em áreas com cultivos agrícolas e vegetação e áreas descobertas. Para solos sem

vegetação e sem proteção utiliza-se o referencial  $C_{USLE}$  igual a 1. O SWAT calcula o fator de uso e manejo do solo diário através da equação (4.12), considerando que a eficiência de proteção das plantas ao solo influi diretamente no seu desenvolvimento e nas taxas de produção de sedimentos.

$$C_{USLE} = \exp ([\ln(0,8) - \ln(C_{USLE,mn})] \cdot \exp [-0,00115 \cdot rsd_{surf}] + \ln [C_{USLE,mn}]) \quad (4.12)$$

onde,  $C_{USLE,nm}$  é um valor mínimo do fator de uso e manejo do solo e  $rsd_{surf}$  é a quantidade de resíduos sobre a superfície de solo (kg/ha). O valor mínimo do fator de uso e manejo do solo pode ser calculado a partir da seguinte expressão (ARNOLD & WILLIAMS, 1995):

$$C_{USLE,mn} = 1,463 \ln[C_{USLE,aa}] + 0,1034 \quad (4.13)$$

onde,  $C_{USLE,aa}$  é a média anual do fator da cobertura vegetal considerada.

- **Fator de Práticas Conservacionistas**

O fator de práticas conservacionistas é definido como a relação entre a perda de solo esperada com determinada prática conservacionista adotada e a obtida quando a cultura é plantada no sentido do declive. As práticas mais comuns são o plantio em contorno, terraceamento e alternância de culturas.

As figuras 2 e 3 apresentam os valores adotados de  $P_{USLE}$  e os limites de comprimento de rampa para locais onde se adotam práticas conservacionistas com plantio em contorno e terraceamento, respectivamente.

Figura 2: Valores de fator P com plantio em contorno.

Valores de fator P e limites de comprimento de rampa com plantio em contorno.		
Declividade (%)	P <sub>USLE</sub>	Comprimento máximo (m)
1 - 2	0,60	122
3 - 5	0,50	91
6 - 8	0,50	61
9 - 12	0,60	37
13 - 16	0,70	24
17 - 20	0,80	18
21 - 25	0,90	15

Fonte: Wischmeier and Smith (1978)

Figura 3: Valores de fator P com plantio em contorno.

P factor values for contour-farmed terraced fields <sup>1</sup> (from Wischmeier and Smith, 1978)				
Land slope (%)	Farm planning		Computing sediment yield <sup>3</sup>	
	Contour P factor <sup>2</sup>	Stripcrop P factor	Graded channels sod outlets	Steep backslope underground outlets
1 to 2	0.60	0.30	0.12	0.05
3 to 8	0.50	0.25	0.10	0.05
9 to 12	0.60	0.30	0.12	0.05
13 to 16	0.70	0.35	0.14	0.05
17 to 20	0.80	0.40	0.16	0.06
21 to 25	0.90	0.45	0.18	0.06

<sup>1</sup>Slope length is the horizontal terrace interval. The listed values are for contour farming. No additional contouring factor is used in the computation.

<sup>2</sup> Use these values for control of interterrace erosion within specified soil loss tolerances.

<sup>3</sup> These values include entrapment efficiency and are used for control of offsite sediment within limits and for estimating the field's contribution to watershed sediment yield.

Fonte: Wischmeier and Smith (1978).

### • Fator Topográfico

O fator topográfico é o conjunto dos fatores L e S. O fator L (comprimento do declive) representa a relação de perdas entre um declive de comprimento qualquer e um declive de 22,1 m de comprimento do mesmo solo, mesmas características de chuva, mesmo grau de inclinação e sob mesmas condições de manejo. O fator S (grau do declive) é a relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9%, para as mesmas condições. O fator topográfico é calculado pela seguinte equação:

$$LS_{USLE} = \left( \frac{-L_{hill}}{22,1} \right)^m \cdot (65,41 \cdot \text{sen}^2(\alpha_{hill}) + 4,56 \cdot \text{sen} \alpha_{hill} + 0,065) \quad (4.14)$$

onde,  $L_{hill}$  representa o comprimento de rampa (m),  $m$  é o termo exponencial e  $\alpha_{hill}$  é o ângulo do declive. O termo exponencial  $m$  é obtido através da expressão:

$$m = 0,6 \cdot (1 - \exp[-35,835 \cdot slp]) \quad (4.15)$$

onde  $slp$  é a declividade da unidade de resposta hidrológica (HRU) expressa em m.m<sup>-1</sup>. A relação entre  $\alpha_{hill}$  e  $slp$  é:

$$slp = \tan \alpha_{hill} \quad (4.16)$$

- **Fator de Aspereza**

O fator de aspereza é calculado através da seguinte equação:

$$CFRG = \exp(-0,053 \cdot rock) \quad (4.17)$$

onde,  $rock$  é a porcentagem de rochas na primeira camada de solo (%).

- **Retardo dos Sedimentos do Escoamento Superficial**

Para retardar a chegada de uma porção do escoamento superficial ao canal principal juntamente com os sedimentos dessa porção, o SWAT incorpora uma característica de armazenamento de escoamento, considerando que em grandes bacias onde o tempo de concentração é maior que um dia, apenas uma parte do escoamento superficial alcançará o canal principal no mesmo dia. A quantidade de sedimento que é liberada para o canal principal é calculada pela equação:

$$sed = \sum (sed' + sed_{stor,i-1}) \cdot \left(1 - \exp\left[\frac{-surlag}{t_{conc}}\right]\right) \quad (4.18)$$

onde:  $sed$  é a quantidade de sedimento entregue no canal principal durante um dia (ton),  $sed'$  é a quantidade de sedimento gerada na HRU durante um dia (ton),  $sed_{stor,i-1}$  é o sedimento retardado no dia anterior (ton),  $surlag$  é o coeficiente de

retardo do escoamento superficial (adimensional) e  $t_{conc}$  é o tempo de concentração da HRU (h).

A expressão abaixo representa a fração do total de sedimentos disponível que alcança o canal principal em um dia.

$$\left(1 - \exp\left[\frac{-surlag}{t_{conc}}\right]\right) \quad (4.19)$$

- **Sedimentos do Escoamento Lateral e Subterrâneo**

Os sedimentos presentes nos escoamentos lateral e subterrâneo também são computados no canal principal pelo modelo SWAT. Essa quantidade de sedimento proveniente desses escoamentos é calculada da seguinte forma:

$$sed_{lat} = \frac{(Q_{lat} + Q_{gw}).area_{hru}.conc_{sed}}{1000} \quad (4.20)$$

onde:  $sed_{lat}$  é o sedimento transportado pelo escoamento superficial e subterrâneo (ton),  $Q_{lat}$  e  $Q_{gw}$  são o escoamento sub-superficial lateral de um dia (mm) e o escoamento subterrâneo de um dia (mm), respectivamente,  $area_{hru}$  é a área da HRU (km<sup>2</sup>) e  $conc_{sed}$  é a concentração de sedimentos no escoamento lateral e subterrâneo (mg/L).

#### 4.2.3 Preparação do banco de dados referentes à bacia hidrográfica do Córrego do Sossego para obtenção do indicador'

A preparação do banco de dados referentes à bacia hidrográfica do Córrego do Sossego foi feita para a obtenção do indicador utilizado nesse estudo. Para obtenção das taxas de produção de sedimentos, foi utilizado o modelo SWAT que requer uma série de dados para assim realizar o cálculo da produção de sedimentos na bacia hidrográfica. Além disso, foram necessários dados de solo para determinação dos limites de tolerância à perda de solo na bacia. A seguir será

descrita toda a metodologia utilizada para obtenção desses dados, seguindo a ordem demandada pelo modelo SWAT.

#### 4.2.3.1 Modelo Digital de Terreno

O Modelo Digital de Terreno foi obtido do mapeamento digital realizado no estado do Espírito Santo realizado no ano de 2012, com resolução de 25m<sup>2</sup> (GEOBASES, 2012).

#### 4.2.3.2 Subdivisão da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

A subdivisão da bacia hidrográfica em sub-regiões é uma etapa importante na utilização do modelo SWAT, pois todos os resultados tabulares obtidos na modelagem são plotados e apresentados nas sub-regiões criadas. Além disso, a subdivisão da bacia hidrográfica permite refletir as diferenças de tipo de solo, uso e cobertura do solo e declividade, e cada sub-região pode ser parametrizada, utilizando uma série de unidades de resposta hidrológica (HRU), definidas a partir do cruzamento das informações fornecidas pelos mapas de tipo de solo, uso e cobertura do solo e declividade, apresentando homogeneidade e uma única combinação de tipo de solo/uso do solo/declividade.

Para a divisão das sub-regiões, o modelo adiciona automaticamente, a partir do modelo digital de terreno e da malha hidrográfica, os pontos de confluência de linha d'água que delimitam as sub-regiões, calculando-as e sendo possível alterá-las manualmente conforme as necessidades demandadas no estudo.

Cada HRU apresenta homogeneidade em relação ao tipo de solo, uso e cobertura vegetal e declividade e todos os cálculos realizados pelo modelo SWAT para obtenção das taxas de produção de sedimentos são feitos nas unidades de resposta hidrológica.



#### 4.2.3.3 Mapa pedológico

Os dados pedológicos utilizados foram obtidos através do trabalho de Poloni (2010), que a partir de informações existentes, realizou atualização dos dados e remodelou os contornos das classes de solo na bacia.

Além disso, para a geração dos parâmetros de solo da bacia, importantes para a caracterização das características físico-hídricas dos solos da região, foram utilizados dados obtidos em trabalhos realizados em áreas que possuem solos com características similares aos encontrados na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.

Para montar o banco de dados de entrada de parâmetros de solo foi necessário obter informações referentes às características físico-hídricas de cada tipo de solo, como os grupos de saturação, a profundidade de raiz, porosidade, profundidade da camada, densidade aparente, capacidade de água no solo, condutividade hidráulica saturada, erodibilidade, albedo, carbono orgânico, e percentagem de argila, silte e areia. Para isso, foram utilizados dados obtidos nos trabalhos de Baldissera (2005), Fukunaga (2012) e Brito (2015). E, através da compilação dos dados, criou-se a tabela dos parâmetros de solo específicos da região em estudo.

#### 4.2.3.4 Mapa de uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo foi extraído do último mapeamento digital do estado do Espírito Santo (GEOBASES, 2012). Todavia, levando-se em consideração o foco desse trabalho de avaliar a adequação dos indicadores de qualidade de solo no contexto da produção agrícola sustentável, a necessidade de informações precisas e detalhadas dos usos agrícolas na área de estudo seria necessária para que se pudesse obter um diagnóstico mais específico da área de estudo. Como o mapa de uso e cobertura do solo fornecido apresentava uma versão simplificada, principalmente em se tratando de cultivos temporários, foi necessário realizar a atualização do mapa fornecido pela Secretaria de Meio Ambiente do estado do Espírito Santo, uma vez que o tipo de cultura e o manejo adotado nas propriedades são de suma importância nesse estudo. Portanto, foi realizada visita *in loco* em toda

a área da bacia, a fim de detalhar e atualizar todos os usos existentes, além de realizar as correções necessárias para uma melhor caracterização da área de estudo. O trabalho de detalhamento e atualização dos dados foi composto por duas etapas: (1) reconhecimento do local e identificação de áreas prioritárias para visita, considerando como prioritárias as áreas classificadas como cultivos temporários e cultivos permanentes. Com auxílio dos técnicos do Incaper, foi feito o levantamento de todas as áreas que não haviam sido identificados nenhum uso ou sido classificada como “outros” no mapeamento realizado pelo Geobases, e das áreas que apresentavam discordância entre a classificação identificada no mapa e o uso observado *in loco*; e (2) visita à bacia hidrográfica, observação e validação das informações contidas no mapa para os usos que já estavam identificados.

Figura 4: Mapeamento de áreas prioritárias para visita com apoio de técnicos do Incaper.



Figura 5: Validação dos usos do solo e práticas conservacionistas na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.

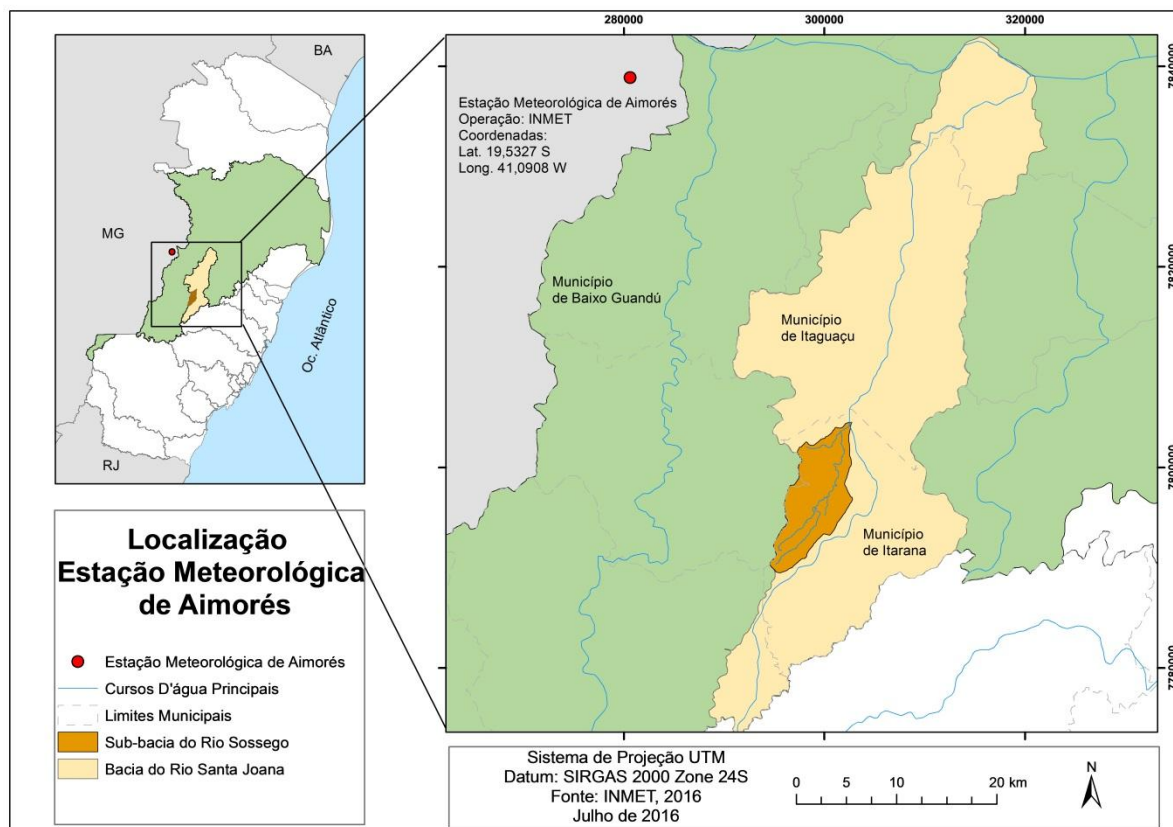


Para a modelagem no SWAT, como o modelo disponibiliza uma grande base de dados de diversos tipos de culturas, não foi necessário inserir parâmetros específicos de tipo de uso e cobertura do solo, facilitando assim essa etapa do processo de modelagem.

#### 4.2.3.5 Parâmetros climáticos

Na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego não existe uma estação meteorológica que fornece os dados demandados pelo SWAT. Com isso, foi necessário buscar uma estação que apresentasse características climáticas e topográficas semelhantes as da área de estudo, além de possuir um banco de dados representativos e consistentes para a modelagem no SWAT. Diante disso, a estação selecionada foi a Estação Meteorológica do município de Aimorés/MG (86803), distante 45 km de Itarana, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Mapa 2). Os dados foram cedidos pelo Incaper.

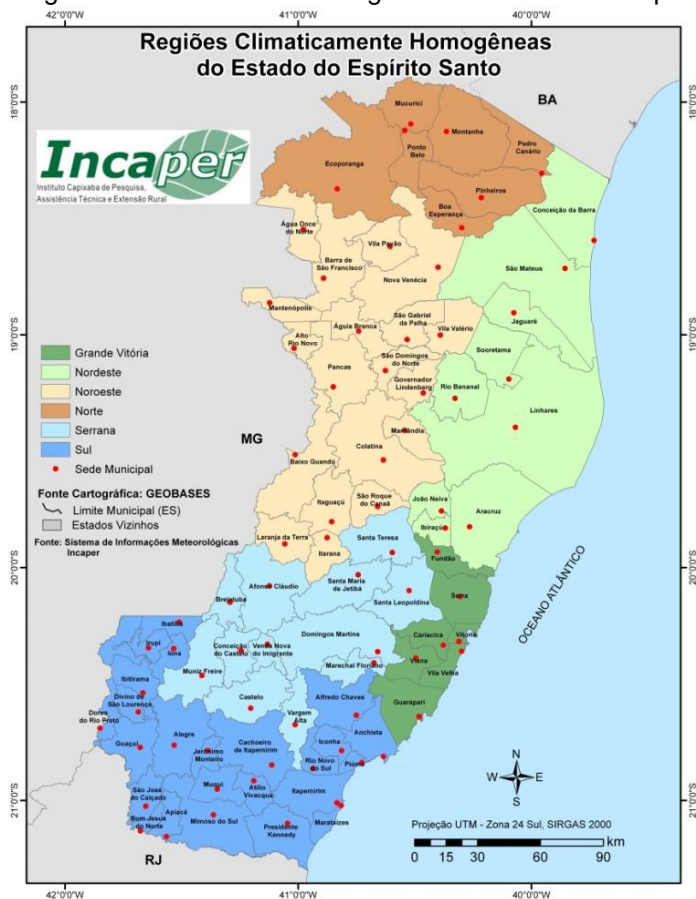
Mapa 2: Localização da estação meteorológica de Aimorés.



Um estudo realizado pelo Incaper obteve como resultado o mapa de regiões climaticamente homogêneas do estado do Espírito Santo (Mapa 3), que foi de suma importância para a escolha da estação a ser utilizada nesse estudo, pois ele serviu de base para que não fossem escolhidas estações de municípios de maior proximidade da área de estudo, uma vez que apesar de estarem mais próximas, apresentam características climáticas muito distintas das encontradas na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.

É importante ressaltar que, no município de Itarana existe uma estação meteorológica do tipo convencional, operada pelo INCAPER, que monitora dados diários de precipitação. Como o modelo SWAT requer, além desse parâmetro, dados diários de temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento, para a montagem do banco de dados do modelo foi feita uma compilação utilizando os dados da estação meteorológica de Aimorés, e substituindo os dados de precipitação pelos dados da estação de Itarana a fim de obter melhores resultados.

Mapa 3: Regiões climaticamente homogêneas do estado do Espírito Santo



Fonte: Incaper (2015)

O modelo SWAT dispõe de um modelo de Gerador climático WXGEN (SHARPLEY & WILLIAMS, 1990) que utiliza dados médios para gerar dados climáticos diários a fim de simular cenários alternativos e/ou preencher falhas de dados climatológicos.

As equações utilizadas para determinar os dados climáticos da estação meteorológica de Aimorés são apresentadas no apêndice A.

#### 4.2.3.6 Cálculo da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

Após a inserção de todos os dados de entrada no modelo, a próxima etapa foi de execução do modelo. A simulação para a bacia foi elaborada com dados climáticos de nove anos (01/01/2007 a 31/12/2015), tendo sido usado um período de aquecimento de três anos. Com isso, o programa realizou todos os equacionamentos necessários para obtenção das taxas de produção de sedimentos na bacia.

#### 4.2.3.7 Tolerância à perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

Os limites de tolerância à perda de solo (TPS) adotados foram obtidos tomando-se por base as pesquisas de Lombardi Neto & Bertoni (1975) e Demarchi & Zimback (2014), para o estabelecimento de padrões limites para cada sub-região da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.

A seguir são apresentados os valores adotados para cada classe de solo da área de estudo (tabela 1).

Tabela 1 Classes de solos da bacia e a tolerância à perda de solo

<b>Classe de solo</b>	<b>Tolerância à perda de solo (ton.ha/ano)</b>
<b>Argissolos</b>	6,71
<b>Gleissolos</b>	8,7
<b>Neossolos</b>	5,28
<b>Latossolos</b>	10,49

Para obtenção do limite de cada sub-região da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego, considerou-se a área de cada tipo de solo existente e seus respectivos limites de tolerância à perda de solo obtidos na literatura.

#### **4.2.4 Diagnóstico da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego utilizando o indicador balanço Tolerância à perda de solo (TPS) – Taxa de perda de solo (PS)**

Para diagnosticar a bacia hidrográfica do Córrego do Sossego tomando por base o indicador balanço TPS-PS, foram utilizados os dados de tolerância à perda de solo e taxas de perda de solo na bacia. A partir desses dados, foi realizada a comparação entre os valores obtidos, tendo como referência os valores de tolerância à perda de solo. Para cada sub-região, foi calculada a taxa de perda de solo, e assim comparou-se com a tolerância. Adotaram-se duas classificações: 1) regiões críticas, nas quais o TPS – PS apresentavam valores menores que zero representadas pela cor laranja; e 2) regiões não críticas, onde os valores de TPS – PS eram maiores ou iguais a zero, representadas pela cor verde. Essa classificação adotada levou em consideração a relação perda de solo/perda de fertilidade do solo, que se baseia nos limites estabelecidos de perda de solo para cada tipo de solo que garanta a sua capacidade produtiva e a sustentabilidade da produção agrícola. Após a análise comparativa, foi elaborado o mapa com os resultados de TPS-PS para todas as sub-regiões da bacia do Córrego do Sossego.

#### **4.2.5 Utilização do indicador TPS-PS para avaliação de desempenho de estratégias de produção agrícola sustentável**

Para que o indicador TPS-PS pudesse ser utilizado como norteador para o alcance de metas estabelecidas de produção sustentável, foi elaborada uma estratégia com o objetivo de, além de diagnosticar a bacia hidrográfica, criar também meios de melhorar e monitorar as condições das sub-regiões críticas da bacia apontadas pelo mapa de TPS-PS e os impactos inerentes da adoção de usos e manejos alternativos do solo.

Diante disso, através de um fluxograma, foi montada toda a estratégia, levando em consideração os resultados obtidos na etapa anterior, onde as sub-regiões foram classificadas de acordo com a sua criticidade, apontadas pelo indicador. As regiões que receberam classificação “não críticas”, nessa estratégia construída, não eram prioritárias na realização das intervenções, uma vez que, apesar de ocorrer a produção de sedimentos nessas áreas, as taxas apresentavam valores menores que os limites estabelecidos pela tolerância à perda de solo. Já as regiões classificadas como “críticas” foram aquelas que necessitavam de intervenções a fim de adequá-las de modo que as taxas de perda de solo fossem menor que os limites de tolerância de forma a garantir a sustentabilidade da produção agrícola da região.

Além disso, adotou-se nessa estratégia uma meta de redução de perda de solo na bacia hidrográfica. Essa meta foi definida hipoteticamente pela autora desse trabalho em parceria com os produtores rurais da bacia do Córrego do Sossego, em oficina realizada em Itarana-ES.

#### 4.2.5.1 Compartimentação da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

A compartimentação da bacia do Córrego do Sossego através da estimativa de suscetibilidade natural à erosão se deu por meio de dados pedológicos e de declividade das encostas da bacia. O fator climático também pode ser utilizado em complementação à avaliação, entretanto como os fatores climáticos foram homogêneos para toda a bacia, eles não iriam exercer influência nos resultados obtidos, por isso não foram utilizados. Além disso, segundo Salomão (1999), os índices de erodibilidade dos solos e declividade são satisfatórios para representar cartograficamente a suscetibilidade natural à erosão.

Os dados foram manipulados pelos softwares Arcgis 10.1 e ArcSWAT 2012, e por meio do cruzamento das informações foi elaborado o mapa de suscetibilidade natural à erosão (intimamente ligado às características naturais do local).

A classificação de suscetibilidade natural à erosão adotada nesse estudo foram obtidas tomando por base os trabalhos de Salomão (2005), Ross (2005) e Xavier *et*



*al.*(2010) e foram de suma importância para caracterizar a bacia hidrográfica do Córrego do Sossego quanto ao seu nível de potencialidade à erosão.

Figura 6: Classes de erodibilidade - Importância dos tipos de solos na ocorrência de processos erosivos.

Grau de erodibilidade	Unidades pedológicas
<b>I – Muito fraco</b>	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho Amarelo de textura argilosa; solos hidromórficos em relevo plano; <b>Gleissolos</b> , Planossolos, <b>Organossolos</b> , Neossolos Quartzarênico em relevo plano.
<b>II – Fraco</b>	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo de textura média argilosa; Terra Roxa estruturada; <b>Latossolo Vermelho escuro</b> .
<b>III – Médio</b>	Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho escuro, textura argilosa. Latossolo Vermelho Amarelo, textura argilosa e média; <b>Latossolo Vermelho Amarelo</b> ; Terra Bruna.
<b>IV - Forte</b>	Argissolo Vermelho Amarelo não abruptico, textura média -argilosa e média; <b>Cambissolos</b> ; Argissolos Vermelho Amarelo de textura médio -arenosa. <b>Plintossolos</b> .
<b>V – Muito forte</b>	Cambissolos, <b>Neossolos Litólicos</b> , Argissolos Vermelho Amarelo e Vermelho escuro abrupticos, textura arenosa-média; <b>Neossolos Quartzarênicos</b> em relevos suave-ondulado e ondulado.

Fonte: Xavier et al (2010).

Os dados de declividade utilizados foram obtidos pelo Modelo Digital de Terreno do estado do Espírito Santo (GEOBASES, 2012). Além disso, adotou-se a classificação feita por Xavier *et al.* (2010) para as classes de declividade e o seu grau de potencialidade erosiva para caracterizar a bacia em estudo.

Figura 7: Classes de declividade e o seu grau de potencialidade erosiva.

Declividade (%)	Grau de potencialidade erosiva
<b>0-3</b>	Muito fraca
<b>3-8</b>	Fraca
<b>8-12</b>	Média
<b>12-20</b>	Forte
<b>&gt;20</b>	Muito forte

Fonte: Xavier et al (2010).

Com a produção e o cruzamento das informações fornecidas pelos mapas que mostravam características importantes para os processos erosivos, foi possível subdividir a bacia hidrográfica do Córrego do Sossego em três compartimentos de



acordo com o nível de suscetibilidade natural à erosão, seguindo a metodologia proposta por IPT (1990): alto, médio e baixo potencial. Esses compartimentos representavam áreas com características relativamente homogêneas em termos de potencial natural de perda de solo.

Após a elaboração do mapa de compartimentação da área de estudo, por meio de oficina realizada com produtores rurais e técnicos do Incaper, foi feita a validação das informações contidas no mapa, levando em consideração o conhecimento dos atores locais, referentes às características naturais da bacia.

#### 4.2.5.2 Construção participativa de cenários alternativos para a redução da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

O processo de construção participativa de cenários alternativos se deu por meio de oficina realizada na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego juntamente com atores locais (Prefeitura Municipal de Itarana, INCAPER, Associação de Produtores Rurais e Agricultores Locais) a fim de subsidiar a validação dos resultados obtidos nas simulações do SWAT e na caracterização da bacia quanto aos usos e manejos agrícolas adotados pelos produtores rurais.

A oficina foi composta por três importantes etapas: 1) validação dos resultados obtidos no SWAT; 2) seleção de regiões estratégicas para simulação de cenários alternativos e; 3) definição dos usos e manejos do solo possíveis de serem adotados na bacia. Todas as etapas foram feitas por meio de questionários aplicados aos presentes de forma a caracterizar toda a área da bacia, principalmente quanto aos usos e práticas conservacionistas adotadas pelos produtores.

Na etapa de validação dos resultados obtidos no SWAT, foram utilizados os mapas de perda de solo e de compartimentação da bacia, visando a verificação e comparação das informações obtidas nas simulações e o conhecimento dos produtores acerca das características naturais da bacia. Por isso, foram escolhidas 10 sub-regiões para realizar a validação das informações.

Na etapa de seleção de áreas prioritárias de intervenção, o principal objetivo foi de garantir que a estratégia criada nesse trabalho poderia de fato ser aplicada na bacia, trazendo alternativas possíveis de serem adotadas considerando a situação local (ambiental, econômica e social). Entendendo-se que a intervenção em toda a área da bacia pode ser uma ação onerosa e que demande muito esforço, aplicou-se um questionário a fim de indicar as áreas consideradas prioritárias pelos atores locais, levando-se em consideração os níveis de criticidade dos processos erosivos e a viabilidade de intervenção principalmente em relação à mudança de uso, uma vez que existem usos, que economicamente não são vantajosos para o produtor rural, pois são cultivos que lhes garantem um maior retorno financeiro.

Com isso, foram selecionadas as áreas de intervenção, e a partir do mapa de suscetibilidade à erosão, foram levantadas todas as particularidades das regiões selecionadas para assim dar subsídio na etapa seguinte do trabalho que teve por objetivo construir os cenários alternativos para serem aplicados nas regiões selecionadas.

Nessa etapa de construção dos cenários, foram identificadas pelos produtores rurais, através de questionários, as áreas com maior criticidade em relação aos processos erosivos e as áreas que poderiam ser adotados diferentes usos e práticas agrícolas. Ressalta-se que os usos alternativos assim como as práticas agrícolas, foram indicadas pelos atores locais e sendo norteados pelo mapa de compartimentação, o qual indica as áreas mais sensíveis e as mais resistentes naturalmente aos processos erosivos.

#### **4.2.6 Simulação dos cenários alternativos para obtenção do indicador TPS-PS**

Com o objetivo de testar a aplicabilidade do modelo SWAT na quantificação de produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego e verificar o impacto causado pelas alterações no uso e manejo do solo no indicador TPS-PS, foram definidos cenários para serem aplicados nas regiões selecionadas para intervenção. Conforme supracitado, as regiões foram selecionadas por meio de oficina com os produtores rurais da bacia do Córrego do Sossego. Com isso, escolheu-se simular um cenário para cada região selecionada da bacia, priorizando

na definição de usos e manejos alternativos, as suas particularidades em relação à sua suscetibilidade natural à erosão e aos seus limites de tolerância à perda de solo.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 IDENTIFICAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO POSSÍVEIS DE SEREM APLICADOS EM ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA**

Para a identificação dos indicadores a serem utilizados nesse trabalho, foram selecionados na literatura uma série de indicadores de qualidade de solo que são utilizados como condicionantes na produção agrícola sustentável.

No quadro 2 a seguir, são apresentados os indicadores e sua relevância, os autores que citaram e/ou aplicaram o indicador e o seu horizonte de aplicação.

Quadro 2: Indicadores de qualidade dos solos selecionados

Indicador	Descrição	Relevância	Autores	Dados necessários	Fonte de dados	Prazo de aplicação na bacia piloto
Resistência à penetração das raízes	Resistência oferecida pela matriz do solo contra a deformação provocada pelo crescimento das raízes.	Com a elevação da resistência do solo à penetração, a força exercida pelas raízes, necessárias ao deslocamento das partículas do solo se torna limitante e o crescimento radicular é reduzido (Silva & Giarola, 2001).	Costa et al (2012); Silva Filho et al (2010); Carvalho <i>et al.</i> (2008);	Estrutura e densidade do solo	Aquisição de dados através de ensaios em laboratório	Médio
Perda de solo	Perda de solo por unidade de área	Reflete o manejo do solo adotado nas atividades agrícolas	BATISTA JUNIOR, (2012); Ferreira <i>et al.</i> (2012); De Muner (2011)	Parâmetros relativos ao uso e manejo do solo, tipo de solo, declividade e dados climáticos	IEMA/ INCAPER	Curto
Tolerância à perda de solo	Limite máximo de perda de solo para cada tipo de solo que permita e garanta a capacidade produtiva e fertilidade do solo. (Smith, 1941)	Testar a eficiência dos sistemas de manejo do solo e estabelecer limites dentre os quais as escolhas técnicas de uso e manejo adotadas devem ser feitas (MORO, 2005)	(LI <i>et al.</i> , 2009; MORO, 2005; Mannigel <i>et al.</i> , 2002; LAGROTTI, 2000; Lombardi Neto & Bertoni, 1975)	Profundidade, textura e permeabilidade do solo	Demarchi & Zimback (2014); EMBRAPA (2006); Lombardi Neto & Bertoni (1975)	Curto
Capacidade de retenção de água no solo	Relação entre a quantidade de água armazenada e a energia com a qual ela é retida.	Representa a distribuição do tamanho de poros de maior frequência e torna possível a comparação direta de diferentes solos e dos efeitos de diferentes práticas de manejo na qualidade física do solo (DEXTER, 2004).	Varandas (2011); Carvalho <i>et al.</i> (2009); Silva (2008); Marchão <i>et al.</i> (2007); Fidalski e Tormena (2007); Dexter (2004);	Densidade e umidade do solo. Capacidade de campo (CC) e Ponto de Murcha Permanente.	Aquisição de dados através de ensaios em laboratório	Médio

Compactação do solo	Adensamento das camadas de solo.	Exerce influencia nos parâmetros físicos, reduzindo a infiltração, aumentando o escoamento superficial de água no solo, dificultando o crescimento do sistema radicular das plantas e reduzindo a absorção de nutrientes e, consequentemente, o rendimento das culturas (SUZUKI, 2005)	Suzuki <i>et al.</i> (2007); Santi <i>et al.</i> (2006); Balcazar (2011).	Densidade do solo, pressão de pré-consolidação e índice de compressão.	Aquisição de dados através de ensaios em laboratório	Médio
---------------------	----------------------------------	--	---	--	--	-------

No processo de seleção dos indicadores, foram escolhidos indicadores de natureza física, uma vez que do ponto de vista agrícola, são eles que assumem maior importância, estabelecendo relações fundamentais com os processos hidrológicos além de possuírem funções essenciais no suprimento e armazenamento de água, nutrientes e oxigênio no solo. Além disso, a boa qualidade física dos solos influencia diretamente nos indicadores químicos e biológicos (ZOREL, 2008).

Ressalta-se que as práticas de manejo adotados nos diversos tipos de solo promovem modificações em suas propriedades físicas, influenciando na produção agrícola como também nos processos erosivos.

Os processos erosivos estão altamente influenciados pela qualidade física dos solos, principalmente pelos indicadores de textura e estrutura dos solos. Com isso, observa-se que todos os indicadores listados poderiam ser utilizados nesse trabalho, entretanto devido ao tempo de execução da pesquisa, o elemento fundamental na escolha dos indicadores possíveis de serem utilizados, foi o horizonte de aplicação do indicador. Isso porque, para se conseguir atingir os objetivos propostos, é necessário que haja dados disponíveis para serem aplicados na etapa de modelagem na região piloto.

Os indicadores considerados de médio prazo de aplicação na bacia piloto demandariam atividades de campo, monitoramento e análises laboratoriais para caracterização e obtenção dos dados necessários para montar o indicador, sendo inviável a sua utilização na região em estudo.

O impacto causado pela mudança nos usos e manejos do solo que alteram as taxas de perda de solo podem ser simulados através da utilização de modelos matemáticos de predição de perda de solo em bacias, caso haja dados disponíveis para alimentá-los.

Ao comparar as taxas de perda de solo com os limites de tolerância à perda de solo de cada sub-região da bacia hidrográfica, percebe-se que um novo indicador passa a ser considerado, pois quando se admite que uma bacia hidrográfica apresenta taxas de perda de solo maiores que os limites de tolerância à perda de solo, os usos e manejos adotados não estão garantindo a sustentabilidade da agricultura, assim como, quando esse balanço é positivo, ou seja, perde-se menos solo que o limite de tolerância à perda de solo, apesar de estar ocorrendo a perda de solo na região, ela ainda está dentro dos níveis que lhe garante a sustentabilidade e a manutenção da capacidade produtiva dos solos e fertilidade.

Nesse sentido, serão adotados os limites de tolerância à perda de solo e taxa de perda de solo, e a subtração entre esses dois fatores resultará no indicador TPS-PS que será aplicado como condicionante na metodologia proposta no contexto da produção agrícola sustentável em escala de bacia hidrográfica.

## 5.2 APLICAÇÃO/VALIDAÇÃO DO EMPREGO DO INDICADOR DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL

Para a aplicação e validação do emprego do indicador na bacia hidrográfica piloto, os resultados obtidos foram subdivididos em três seções e serão apresentados a seguir: 5.2.1 – Preparação do banco de dados referentes à bacia hidrográfica do Córrego do Sossego e utilizados nas simulações no modelo SWAT para determinação do indicador balanço TPS-PS; 5.2.2 – Diagnóstico da bacia hidrográfica utilizando o indicador TPS-PS e 5.2.3 – Utilização do indicador de desempenho de estratégias de produção agrícola sustentável.

### 5.2.1 Preparação do banco de dados referentes à bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

Nessa seção estão apresentados todos os resultados referentes às etapas de preparação do banco de dados necessários para a obtenção das taxas de perda de solo e de tolerância à perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego, para determinação do indicador balanço TPS-PS. Os resultados foram dispostos na ordem demandada pelo modelo SWAT.



### 5.2.1.1 Modelo Digital de Terreno

O mapa 3 produzido e a tabela 2 apresentam a distribuição das classes de declividade ao longo da bacia.

Mapa 3: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.

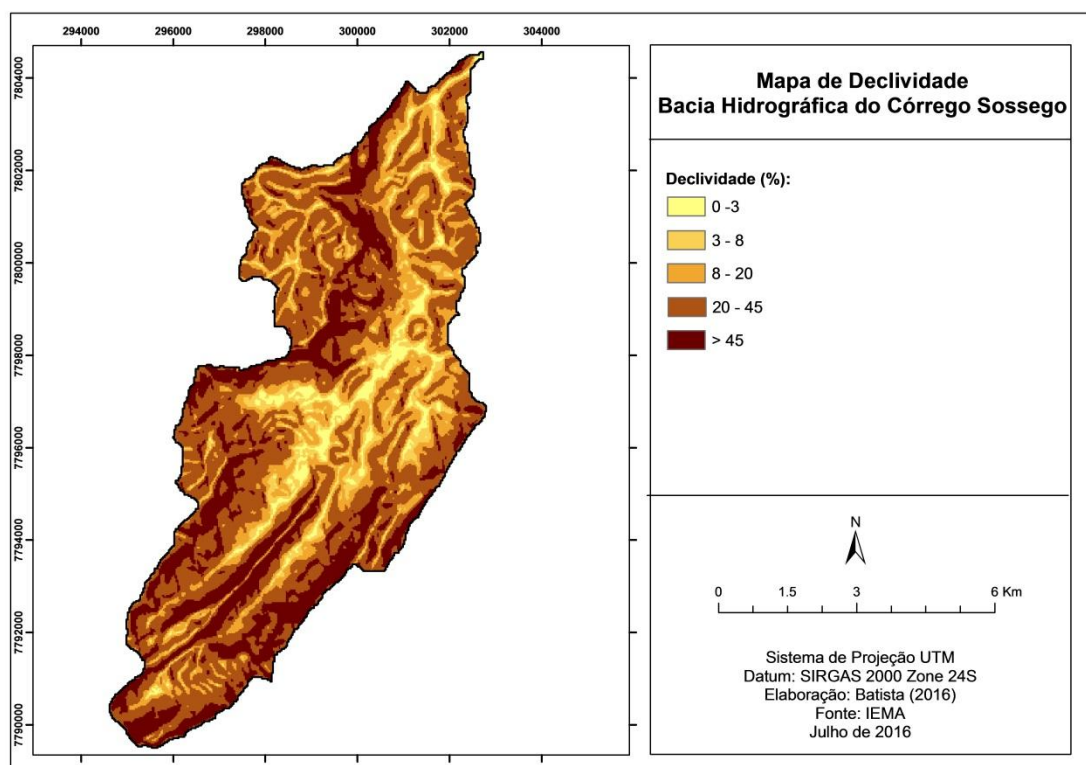


Tabela 2: Classes de declividade e as áreas ocupadas na bacia

<b>CLASSE DE DECLIVIDADE</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
<b>0 a 3% - Plano</b>	234,2	4,0
<b>3 a 8% - Suavemente ondulado</b>	459,7	7,8
<b>8 a 20% - Ondulado</b>	1175,7	19,7
<b>20 a 45% - Fortemente ondulado</b>	2808,5	47,1
<b>&gt; 45% - Montanhoso</b>	1279,9	21,4
<b>Total</b>	5958,1	100

Conforme apresentado, há uma predominância de relevos mais acentuados em toda a bacia. Cerca de 47,1% da área da bacia é composta por relevo fortemente ondulado, com declividade variando de 20 a 45%, seguido de regiões montanhosas, apresentando declividades maiores que 45%, que compoemdo 21,4% da área da bacia. As regiões de relevo ondulado, na faixa de 8 a 20% de

declividade, representam 19,7% da área total. As regiões planas estão em menores áreas ao longo da bacia, e compõe cerca de 4% de área, seguida das regiões de relevo suavemente ondulado (7,8% de área).

#### 5.2.1.2 Subdivisão da Bacia Hidrográfica do Sossego pra apresentação dos resultados das simulações no modelo SWAT

A bacia hidrográfica foi subdividida em 64 sub-regiões para apresentação dos resultados decorrentes das simulações realizadas no SWAT. O mapa 4 e a tabela 3 apresentam a distribuição dessas sub-regiões ao longo da bacia e as suas áreas, respectivamente.

Mapa 4: Sub-regiões da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego

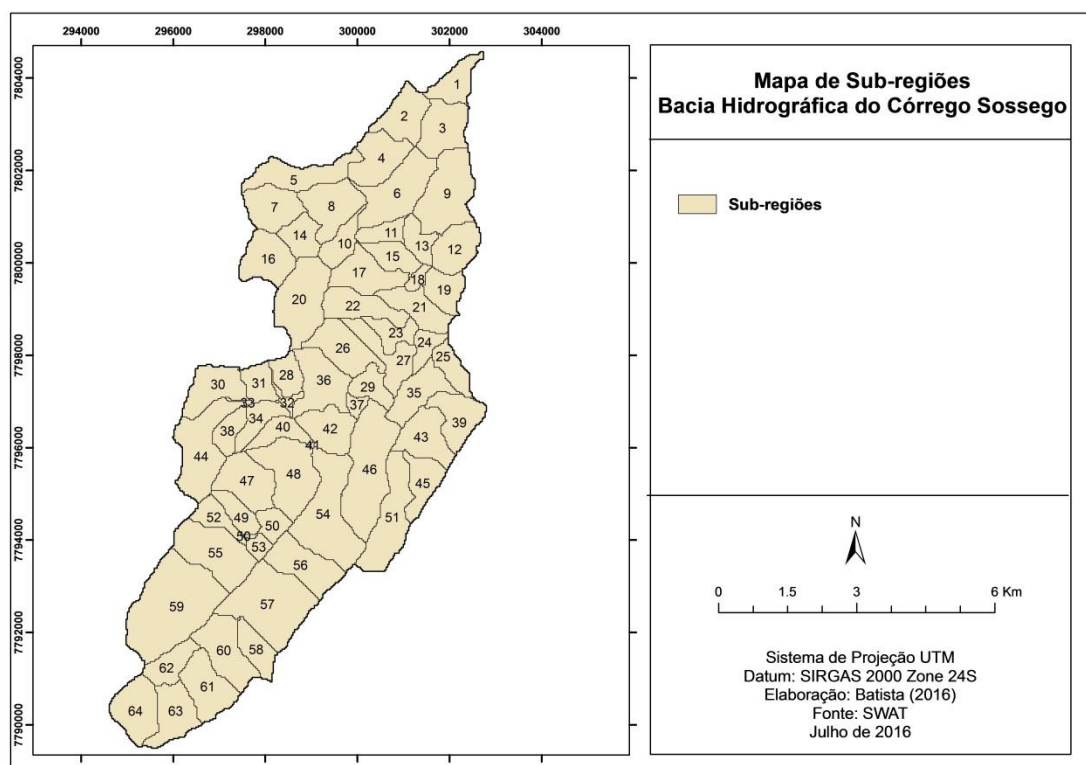


Tabela 3: Sub-regiões da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego e suas respectivas áreas.

SUB-REGIÃO	ÁREA (ha)	SUB-REGIÃO	ÁREA (ha)	SUB-REGIÃO	ÁREA (ha)	SUB-REGIÃO	ÁREA (ha)
1	62,3	17	102,2	33	3,7	49	48,7
2	95,3	18	18,1	34	56,7	50	41,5
3	104,9	19	63,1	35	95,0	51	155,8
4	112,2	20	164,0	36	124,1	52	220,4
5	105,8	21	83,0	37	16,7	53	48,4
6	155,6	22	93,7	38	46,3	54	21,9
7	98,4	23	49,9	39	92,3	55	161,4
8	117,5	24	38,0	40	52,9	56	119,4
9	166,8	25	51,5	41	1,0	57	227,1
10	55,8	26	111,3	42	93,5	58	60,8
11	41,0	27	89,1	43	103,4	59	310,5
12	88,8	28	49,3	44	165,3	60	124,2
13	48,3	29	53,3	45	73,6	61	111,4
14	60,6	30	97,2	46	231,2	62	63,7
15	58,1	31	49,4	47	114,2	63	99,5
16	102,3	32	15,2	48	159,2	64	109,3

Essas regiões apresentam áreas muito distintas, variando de 1,0 hectare a 310,5 hectares, entretanto essa diferença não exerce influência sobre os cálculos de produção de sedimentos na bacia hidrográfica.

#### 5.2.1.3 Pedologia

A distribuição espacial dos tipos de solo é apresentada no mapa 5. O resultado dos dados pedológicos é resultante da integração de informações dos estudos de GEARH (2003) e Poloni (2010), conforme apresentado no item 4.2.3.3 da metodologia. A tabela 4 apresenta as classes de solo e o percentual de suas áreas na bacia.

Mapa 5: Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego

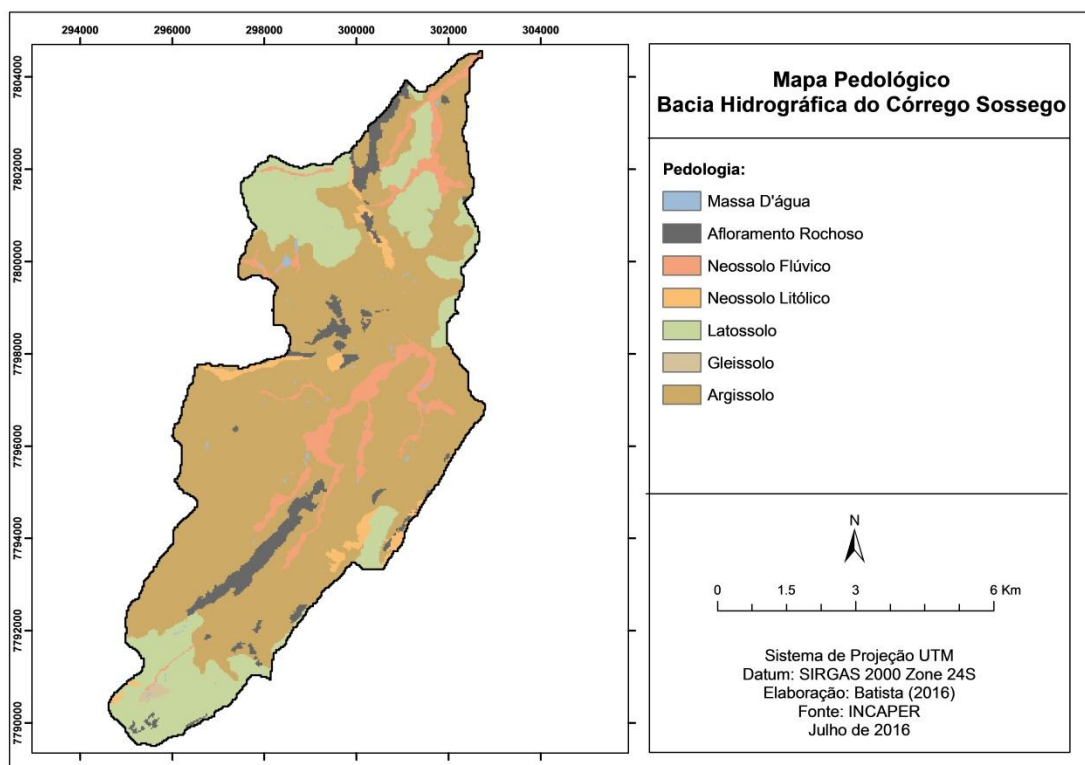


Tabela 4: Tipos de solo e a área ocupada na bacia

TIPOS DE SOLO	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
<b>Argissolos</b>	3953,6	66,4
<b>Gleissolos</b>	13,2	0,2
<b>Neossolo Flúvico</b>	360,6	6,1
<b>Neossolo Litólico</b>	125,5	2,1
<b>Latossolos</b>	1197,5	20,1
<b>Afloramento Rochoso</b>	307,7	5,1
<b>Total</b>	5958,1	100

Os tipos de solo predominantes na bacia são os argissolos, que representam cerca de 66,4% da área da bacia, seguidos dos latossolos, que compõem cerca de 20,1% da bacia. Os neossolos, por sua vez, ocupam 8,2% da área da bacia, sendo 6% neossolos flúvicos e 2,1% neossolos litólicos. Os gleissolos compõem uma área bem pequena, cerca de 0,2% da área total da bacia.

Como pode ser visto, há uma predominância de solos mais favoráveis aos processos erosivos na bacia hidrográfica. Os argissolos têm como características naturais altos valores de erodibilidade e baixos valores de tolerância à perda de

solo, o que não impossibilita de serem bons para práticas agrícolas, desde que manejados de forma adequada.

### 5.2.1.3.1 Parâmetros de solo

Os resultados dos parâmetros de solos demandados pelo modelo SWAT referentes às características físico-hídricas do solo, obtidos por meio dos estudos de Brito (2015), Fukunaga (2012), e Baldissera (2005) se encontram na tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros físico-hídricos dos solos utilizados no SWAT.

SNAM	LATOSSOLO <sup>1</sup>	NEOSSOLO FLÚVICO <sup>2</sup>	GLEISSOLO <sup>3</sup>	ARGISSOLO <sup>1</sup>	NEOSSOLO LITÓLICO <sup>2</sup>
NLAYERS	4	4	4	3	4
HYDGRP	B	B	B	B	B
SOL_ZMX	1500,00	1400,00	1300,00	1300,00	800,00
ANION_EXCL	0,38	0,33	0,39	0,32	0,40
SOL_CRK	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
SOL_Z1	360,00	130,00	80,00	200,00	50,00
SOL_BD1	1,50	1,60	1,40	1,70	1,60
SOL_AWC1	0,30	0,14	1,00	0,40	0,15
SOL_K1	12,50	32,50	12,50	90,00	12,50
SOL_CBN1	1,40	1,70	2,80	1,30	0,40
CLAY1	30,00	13,70	26,40	11,70	17,20
SILT1	16,00	56,70	71,50	18,10	29,40
SAND1	53,70	29,60	2,10	70,20	53,40
ROCK1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOL_ALB1	0,15	0,16	0,16	0,15	0,15
USLE_K1	0,13	0,16	0,31	0,14	0,17
SOL_EC1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOL_Z2	760,00	530,00	450,00	550,00	300,00
SOL_BD2	1,70	1,60	1,50	1,70	1,60
SOL_AWC2	0,30	1,00	0,10	0,40	0,15
SOL_K2	12,50	12,50	5,00	90,00	12,50
SOL_CBN2	0,20	0,50	0,70	0,60	0,60
CLAY2	29,80	13,30	37,80	18,80	24,70
SILT2	14,30	46,00	56,30	17,20	25,60
SAND2	55,90	40,70	5,90	64,00	49,70
ROCK2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOL_ALB2	0,15	0,16	0,16	0,15	0,15
USLE_K2	0,14	0,18	0,30	0,15	0,16
SOL_EC2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOL_Z3	1210,00	960,00	750,00	1300,00	600,00
SOL_BD3	1,70	1,50	1,60	1,70	1,60
SOL_AWC3	0,40	1,00	0,70	0,70	0,15

(continuação)

SNAM	LATOSSOLOS <sup>1</sup>	NEOSSOLO FLÚVICO <sup>2</sup>	GLEISSOLO <sup>3</sup>	ARGISSOLO <sup>1</sup>	NEOSSOLO LITÓLICO <sup>2</sup>
SOL_K3	12,50	12,50	40,00	12,50	12,50
SOL_CBN3	0,50	1,30	0,30	0,30	0,60
CLAY3	29,50	23,00	25,60	20,80	24,70
SILT3	13,80	68,10	62,40	18,30	25,60
SAND3	56,70	8,90	12,00	60,90	49,70
ROCK3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOL_ALB3	0,15	0,16	0,16	0,15	0,15
USLE_K3	0,14	0,27	0,26	0,16	0,16
SOL_EC3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOL_Z4	1500,00	1400,00	1300,00	0,00	800,00
SOL_BD4	1,60	1,50	1,70	0,00	1,30
SOL_AWC4	0,40	1,00	0,50	0,00	0,18
SOL_K4	12,50	12,50	12,50	0,00	12,50
SOL_CBN4	0,40	0,60	0,30	0,00	0,76
CLAY4	35,60	27,70	21,50	0,00	32,00
SILT4	15,90	67,40	57,30	0,00	35,00
SAND4	48,5	14,95	21,20	0,00	33,00
ROCK4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SOL_ALB4	0,15	0,15	0,16	0,00	0,15
USLE_K4	0,14	0,25	0,21	0,00	0,16

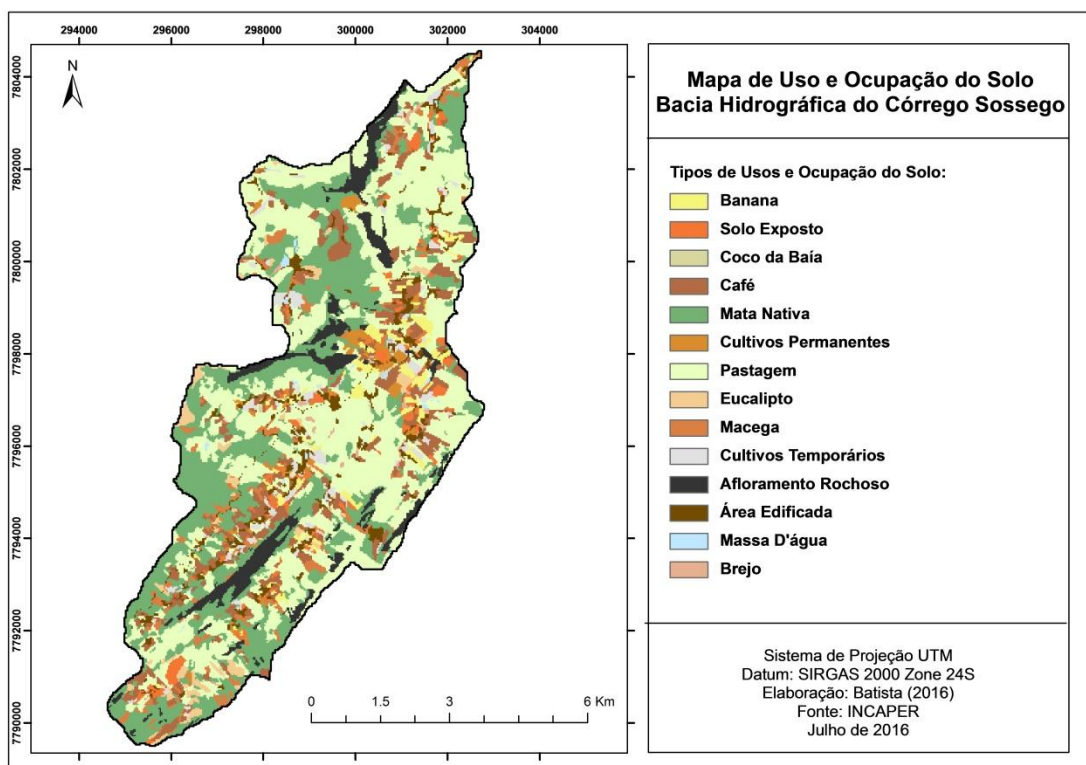
1: FUKUNAGA (2012); 2: BALDISSERA (2005); 3: BRITO (2015).

**Legenda:** SNAM - Nome dado à classe do solo; NLAYERS - Número de horizontes do solo; HYDGRP - Grupo hidrológico do solo (A, B, C e D); SOL\_ZMX - Profundidade máxima possível de alcance de raiz (mm); ANION\_EXCL - Fração de porosidade do solo (decimal); SOL\_Z - Profundidade de cada horizonte (mm); SOL\_BD - Densidade do solo (g/cm); SOL\_AWC - Capacidade de retenção de água no solo (mm/mm); SOL\_K - Condutividade hidráulica em solo saturado (mm/hr); SOL\_CBN - Conteúdo de carbono orgânico do solo (% peso do solo); CLAY - Porcentagem de argila no solo (%); SILT - Porcentagem de silte no solo (%); SAND - Porcentagem de areia no solo (%); ROCK - Porcentagem de cascalho no solo (%); SOL\_ALB - Albedo do solo (decimal); USLE\_K - Fator de erodibilidade do solo (0,013 t m<sup>2</sup> hr/ m t cm).

#### 5.2.1.4 Uso e ocupação do solo

A distribuição dos principais usos do solo presentes na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego é apresentada no mapa 6.

Mapa 6: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego



As culturas existentes na área de estudo são: café, culturas temporárias (berinjela, inhame, jiló, pimentão, quiabo e tomate) e espécies frutíferas (banana, goiaba, limão, manga, mamão, coco-da-baía), além de existirem grandes áreas de pastagem e vegetação nativa. As culturas temporárias apresentam rápida rotatividade e bom retorno para o produtor na região.

A tabela 6 apresenta os principais usos do solo presentes na bacia e suas respectivas áreas.

Tabela 6: Usos do solo e a área ocupada na bacia.

USO DO SOLO	Área (ha)	Área (%)
Café	555,3	9,3
Eucalipto	130,5	2,1
Mata nativa	1599,6	26,8
Macega	193,2	3,2
Cultivos temporários	150,8	2,5
Cultivos permanentes	94,1	1,5
Pastagem	2283,1	38,3
Área edificada	242,8	4,0
Afloramento rochoso	378,1	6,3
Banana	142,7	2,4

<b>Solo exposto</b>	139,7	2,3
<b>Brejo</b>	22,3	0,3
<b>Água</b>	23,5	0,4
<b>Coco da baía</b>	2,4	0,04
<b>Total</b>	5958,17	100

É importante ressaltar que a região apresenta quase 40% de áreas de vegetação nativa, aproximadamente 23 km<sup>2</sup>, uma quantidade significativa, entretanto percebe-se que espacialmente, as áreas de floresta não estão bem distribuídas. Em visita *in loco* observou-se ausência de matas ciliares assim como áreas de topo de morro descobertos, áreas que pela legislação deveriam ser preservadas.

#### 5.2.1.5 Parâmetros climáticos

Os parâmetros climáticos utilizados pelo modelo SWAT e calculados através das equações apresentadas no apêndice A são apresentados na tabela 7.

Tabela 7: Parâmetros climáticos obtidos para serem utilizado na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

<b>PARÂMETROS CLIMÁTICOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO MUNICÍPIO DE AIMORÉS/MG. INMET(2015)</b>												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>TMPMX</b>	31,4	33,0	31,8	30,2	28,9	27,8	27,7	29,2	30,0	30,1	29,9	30,2
<b>TMPMN</b>	23,3	24,0	24,0	22,6	20,5	19,7	19,1	20,0	21,1	22	22,6	23,3
<b>TMPSTDMX</b>	0,7	0,7	1,2	1,3	0,9	0,6	0,9	1,1	0,9	1,9	1,6	1,2
<b>TMPSTDMN</b>	1,9	2,5	2,5	2,3	2,4	2,3	2,6	2,5	2,6	2,5	2,5	2,2
<b>PCPMM</b>	113,6	61,1	123,6	83,8	22,2	25,8	18,4	5,6	15,2	128,5	118,5	287,6
<b>PCPSTD</b>	3,5	1,3	3,0	1,5	1,0	1,4	1,2	0,2	0,2	5,3	2,8	14,8
<b>PCPSKW</b>	29,5	1,4	2,3	0,1	2,2	-0,1	0,2	17,3	15,7	-0,4	1,3	0
<b>PR_W1</b>	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
<b>PR_W2</b>	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,62	0,6	0,7
<b>PCPD</b>	11,8	8,4	13,8	9,4	4,8	4,8	5	2,8	5	10,6	13	15,8
<b>RAINHHMX</b>	32,6	37,8	31,2	45,2	29,6	33,2	11,8	4	15,4	25,6	26,2	46,2
<b>SOLARAV</b>	1,0	1,1	1	0,8	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
<b>DEWPT</b>	20,1	19,8	20,4	19,5	16,9	16,3	15,2	15,0	15,4	17,3	18,6	20,3
<b>WNDVAV</b>	3,4	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,3	2,9	3,2	3,5	3,6	2,5



**Legenda:** TMPMX - Temperatura máxima (°C); TMPMN - Temperatura mínima (°C); TMPSTDMX - Desvio padrão da temperatura máxima (°C); TMPSTDMN - Desvio padrão da temperatura mínima (°C); PCPMM - Precipitação média (mm); PCPST - Desvio padrão da precipitação (mm); PR\_W1 - Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias secos (%); PR\_W2 - Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias úmidos (%); PCPSKW - Coeficiente de assimetria para a precipitação máxima; PCPD - Número de dias de precipitação (dias); RAINHHMX - Precipitação máxima de 0,5 hora (mm); SOLARAV - Radiação solar (MJ. m<sup>-2</sup>. dia<sup>-1</sup>); DEWPT - Temperatura no ponto de orvalho (°C); e WNDVAV - Velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>).

#### 5.2.1.6 Diagnóstico da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

A distribuição espacial da produção média anual de sedimentos, obtida pela equação 4.2 para os anos de 2007 a 2015, é apresentada no mapa 07. A tabela 8 apresenta as classes de perda de solo e as suas respectivas áreas na bacia.

Mapa 7: Mapa da produção de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego

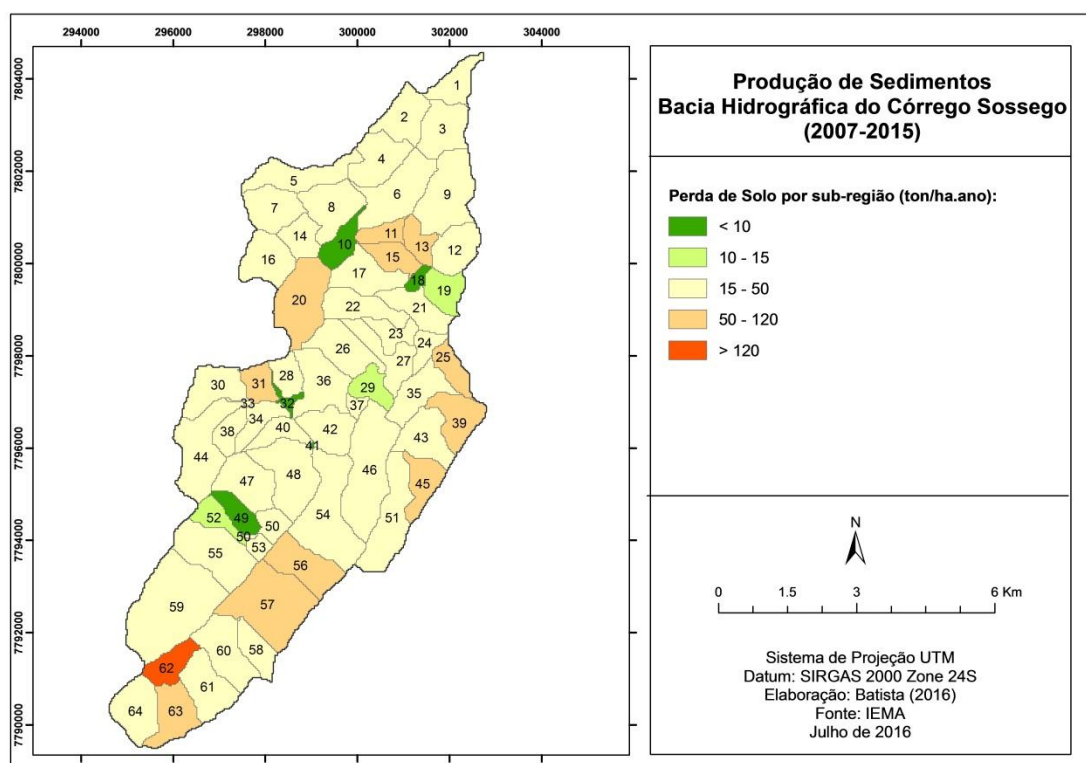


Tabela 8: Classes de perda de solo e as áreas ocupadas na bacia

<b>CLASSES DE PERDA DE SOLO (ton/ha.ano)</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
<b>&lt; 10 – Nula a pequena</b>	139,1	2,4
<b>10 a 15 – Moderada</b>	164,9	2,7
<b>15 a 50 – Média</b>	4565,6	76,6
<b>50 a 120 – Média a forte</b>	1024,7	17,2
<b>&gt; 120 – Forte</b>	63,8	1,1
<b>Total</b>	5958,1	100

Conforme observado e tomando por base a combinação dos dados pedológicos, topográficos, climáticos, uso e ocupação do solo e as práticas conservacionistas, a maior parte da bacia, cerca de 76,6%, apresentou taxas de perda de solo variando de 15 a 50 ton/ha.ano, sendo classificadas como moderada, de acordo com Carvalho (1994), em relação à sua intensidade. As áreas classificadas como de média a forte intensidade, na faixa de 50 a 120 ton/ha.ano, correspondem a 17,2% da bacia, e apenas 1,1% da bacia apresentou taxas de produção de sedimentos maior que 120 ton/ha.ano, de forte intensidade. O restante das sub-regiões da bacia apresentaram taxas de perda de solo menores que 10 ton/ha.ano, cerca de 2,3% da bacia, classificadas como nula a pequena, e taxas de 10 a 15 ton/ha.ano, de intensidade moderada, representando cerca de 2,7% da bacia.

O diagnóstico da produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego foi fundamental, uma vez que ele é um dos fatores utilizados para determinar o indicador de qualidade do solo utilizado nesse estudo.

#### 5.2.1.7 Tolerância à perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

A distribuição espacial dos limites de tolerância à perda de solo calculados para as 64 sub-regiões é apresentada no mapa 8. A tabela 9 apresenta as faixas de limites de tolerância e as suas respectivas áreas em relação à área total da bacia.

Mapa 8: Mapa de tolerância à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego

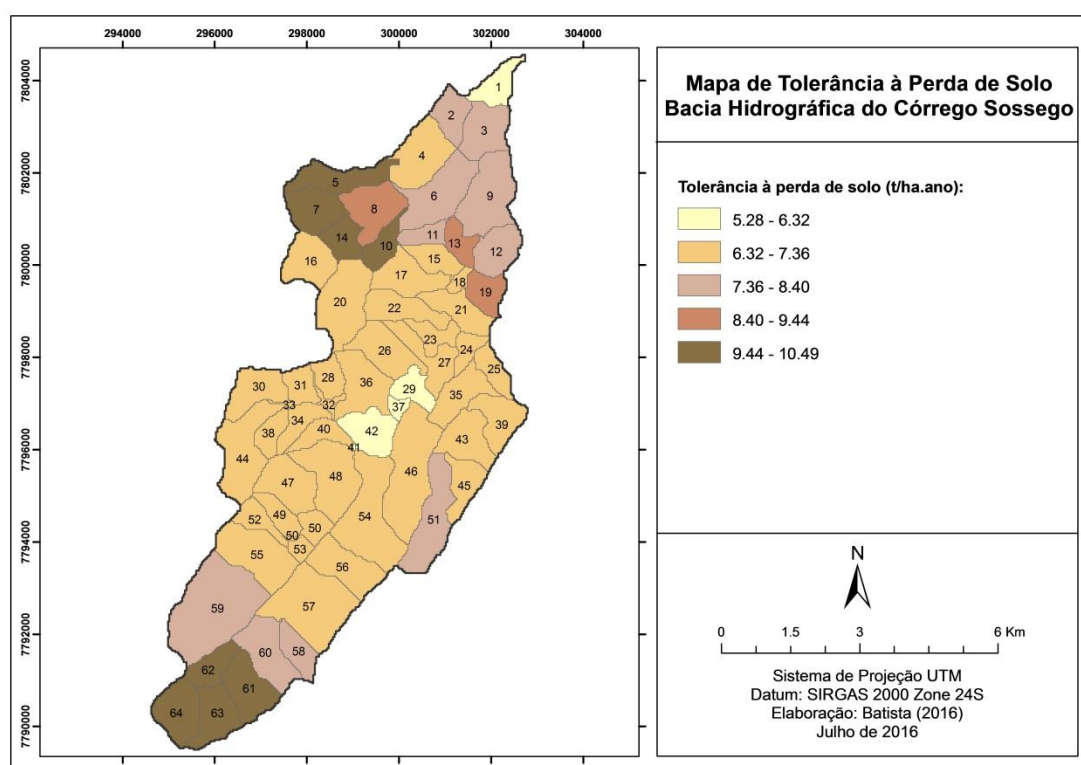


Tabela 9: Limites de tolerância à perda de solo e a área ocupada na bacia.

<b>TOLERÂNCIA À PERDA DE SOLO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
<b>5,28 - 6,32</b>	226,2	3,8
<b>6,32 - 7,36</b>	3493,9	58,7
<b>7,36 - 8,40</b>	1304,2	21,9
<b>8,40 - 9,44</b>	229,2	3,9
<b>9,44 - 10,49</b>	704,9	11,7
<b>Total</b>	5958,1	100

A partir da obtenção da tolerância à perda de solo, tomando por base os limites estabelecidos por Lombardi Neto & Bertoni (1975) para cada tipo de solo e sub-região, nota-se que, cerca de 58,7% da bacia apresenta limites de tolerância na faixa de 6,32 a 7,36 ton/ha.ano; 3,8% estão na faixa de 5,28 a 6,32 ton/ha.ano; cerca de 21,9% na faixa de 7,36 a 8,40 ton/ha.ano; 3,9% na faixa de 8,40 a 9,44 ton/ha.ano; 11,7% na faixa de 9,44 a 10,49 ton/ha.ano.

Os solos presentes na região em estudo apresentam limites distintos de tolerância à perda de solo. Cerca de 66% da bacia é coberta por argissolos, e apresentam

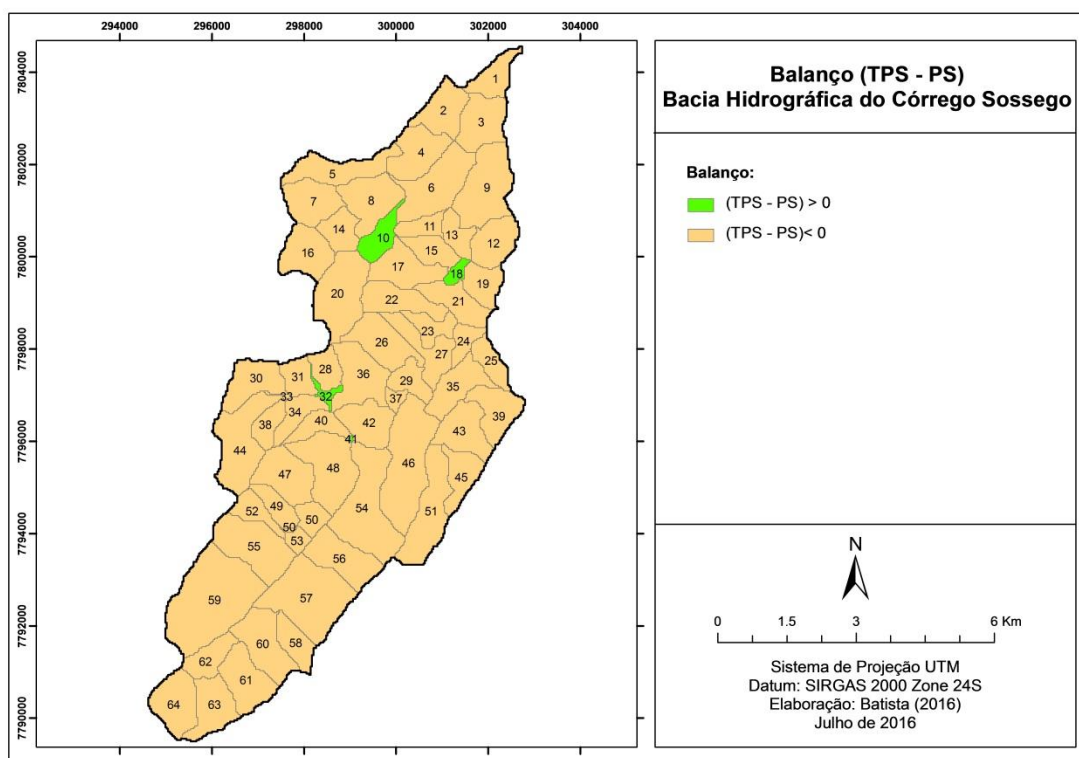
limites de tolerância de 6,71 ton/ha.ano, enquanto 20% da bacia é coberta por latossolos, que apresentam limites maiores de tolerância, cerca de 10,49 ton/ha.ano. Essa diferença dos limites de tolerância entre os diversos tipos de solos está intimamente ligada às suas características físicas e de velocidade de formação, segundo Lombardi Neto & Bertoni (1975).

O estabelecimento dos limites de tolerância à perda de solo para cada sub-região foi essencial para a escolha dos usos e cobertura dos solos adotados nas simulações dos cenários alternativos e as práticas de manejo adequadas para as sub-regiões da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego, uma vez que, apesar desses limites não imporem restrições quanto aos usos e manejos, eles direcionam para as peculiaridades de cada tipo de solo em relação à sua capacidade produtiva e fertilidade (MORO, 2005). Além disso, o estabelecimento dos limites de tolerância à perda de solo foi importante para determinar o indicador utilizado nesse estudo.

### **5.2.2 Diagnóstico da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego utilizando o indicador balanço TPS-PS**

O indicador balanço TPS-PS consiste na comparação entre os valores obtidos de tolerância à perda de solo e taxas de perda de solo em cada sub-região da bacia hidrográfica. O mapa 9 apresenta os resultados do indicador balanço TPS-PS obtidos para todas as sub-regiões. As bacias que estão representadas pela cor verde foram as que apresentaram taxas de produção de sedimentos menores que os limites de tolerância ( $TPS - PS \geq 0$ ), sendo consideradas regiões não críticas em relação à perda de solo/perda de fertilidade na produção agrícola, e as bacias representadas pela cor laranja apresentaram resultados ruins, com taxas de produção de sedimentos maiores que os limites de tolerância ( $TPS - PS < 0$ ), consideradas como regiões de situação crítica.

Mapa 9: Mapa do indicador balanço TPS-PS na Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego



Comparando-se os valores simulados da produção de sedimentos na bacia com os padrões de tolerância à perda de solos, verifica-se que, quase toda a bacia, 98,5%, está em desconformidade com os seus respectivos limites de tolerância à perda de solo, apresentando situação crítica.

Apenas quatro sub-regiões apresentaram taxas de produção de sedimentos dentro dos limites estabelecidos (1,5% da área da bacia), sendo classificadas como situação não crítica. Diante disso, o indicador aponta que em termo de produção agrícola, essa região não se sustenta, uma vez que em grande parte da bacia, anualmente é perdido uma quantidade de solo, maior que a capacidade de recuperação do ambiente, e isso produz impactos negativos na produção agrícola da bacia, pois ao perder solo, perde-se fertilidade e capacidade produtiva do solo.

Ressalta-se que a criticidade da região está diretamente associada aos processos que ocorrem na área onde há a perda de solo. Isso porque, a perda de solo em uma bacia pode ocasionar impactos na própria área, como a perda de fertilidade e capacidade produtiva, assim como nos cursos d'água, através do aporte de sedimentos, resultando em poluição e assoreamento dos recursos hídricos.

Entretanto, nesse estudo, o indicador balanço TPS-PS, ao apontar as regiões críticas ou não críticas, indica o impacto resultante da perda de solo diretamente nas camadas de solo perdida, na capacidade produtiva e na capacidade de recuperação dos solos. Através dos resultados apontados pelo indicador foi possível mensurar quão grande é o impacto dos usos e manejos agrícolas sobre os solos e a situação de criticidade das sub-regiões em relação ao balanço TPS-PS, além de ter subsidiado na elaboração de estratégias que visaram tornar compatíveis as taxas de perda de solo e a produção de sedimentos na bacia.

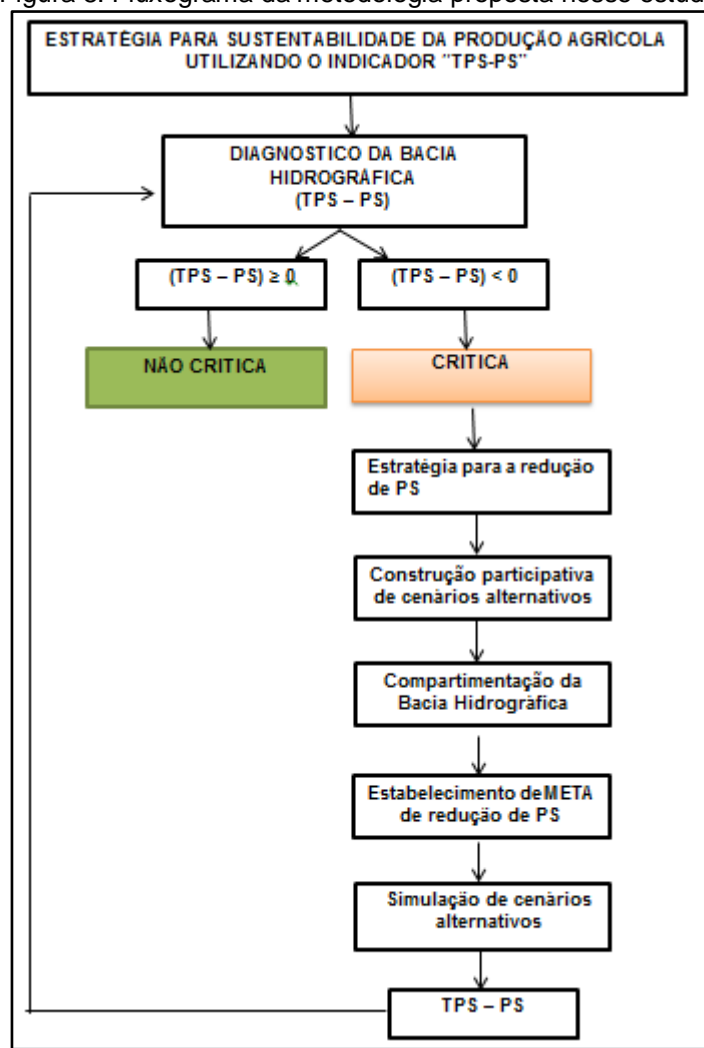
As classificações de criticidade podem variar de acordo com os objetivos e metas almejadas para cada tipo de bacia hidrográfica. Nesse caso, as áreas críticas foram aquelas que apresentaram taxas de perda de solo maiores que os limites de tolerância à perda de solo para cada sub-região da bacia, dando ênfase na capacidade produtiva do solo e nas taxas de fertilidade, relacionadas à produtividade agrícola, desconsiderando outros aspectos relacionados aos processos erosivos, principalmente o aporte de sedimentos na bacia. Entretanto, entende-se que inserindo esse fator dentro da estratégia adotada, a ferramenta terá uma capacidade ainda maior de verificar a sustentabilidade da bacia, apontando não somente as regiões estratégicas de intervenção para tornar o balanço TPS-PS positivo, mas também, aquelas que mais contribuem para o aporte de sedimentos nos cursos d'água.

Vale ressaltar que, o cenário ideal para a bacia hidrográfica, em relação à produção agrícola sustentável e considerando o indicador TPS-PS, é aquele que garanta o balanço positivo em todas as sub-regiões e assim, assegure a sustentabilidade dos solos e da produção agrícola. Entretanto, o cenário atual da bacia aponta para uma realidade incompatível com o almejado. Para isso, a busca por estratégias que visem a diminuição das taxas de produção de sedimentos na bacia, partiu da necessidade de definição de usos do solo e manejos agrícolas adequados, considerando as particularidades de cada sub-região da bacia, para assim, tomando por base os solos da região, garantir a sustentabilidade da produção agrícola.

### 5.2.3 Utilização de indicador TPS-PS para avaliação de desempenho de estratégias de produção agrícola sustentável em bacias hidrográficas

Diante do diagnóstico obtido pelo indicador TPS-PS, a figura 10 apresenta o fluxograma da proposta de estratégia resultante desse trabalho, para minimizar as taxas de produção de sedimentos na bacia e tornar positivo o balanço TPS-PS nas sub-regiões da bacia hidrográfica.

Figura 8: Fluxograma da metodologia proposta nesse estudo.



Conforme observado, a estratégia de sustentabilidade da produção agrícola do presente trabalho tem como norteador o indicador TPS-PS. Além de ter sido utilizado para diagnosticar a situação da bacia hidrográfica, ele foi de fundamental importância para o monitoramento do impacto associado à adoção dos usos e manejos agrícolas alternativos no balanço TPS-PS nas sub-regiões da bacia,

servindo assim para verificar se após a alteração dos usos e manejos do solo houve também alteração nos índices de criticidade em relação aos processos erosivos.

Outra etapa de suma importância adotada na estratégia proposta foi o estabelecimento de meta de redução de perda de solo na bacia hidrográfica. Conforme observado, os resultados referentes ao diagnóstico obtido pelo indicador apontaram que 98,5% da bacia estavam em situação crítica. Com isso, o esforço para assegurar que as sub-regiões apresentassem situações não críticas para toda a bacia, através da adoção de usos e manejos agrícolas, seria muito grande, uma vez que, seria necessário reduzir a produção média total de sedimentos na bacia em 80%, tomando por base os resultados das simulações realizadas no modelo SWAT. Com isso, a efeito de exemplificação, foi definida uma meta mínima de redução de produção de sedimentos na bacia. É importante ressaltar que, todas as etapas da estratégia proposta foram pensadas de forma a tornar aplicável essa metodologia, ou seja, estar alinhada a cenários viáveis e possíveis de serem adotados na bacia hidrográfica piloto.

Diversos autores ao proporem cenários alternativos para bacias hidrográficas, muitas vezes adotam usos para o solo considerando apenas os aspectos ambientais, sem se atentar para a situação social e econômica da região, o que de certa forma, acaba tornando-se irreal se forem, de fato, colocados em prática. Diante disso, o estabelecimento da meta de redução buscou garantir, através dos usos e manejos do solo adotados, uma redução mínima de 30% de perda de solo. O objetivo dessa meta foi garantir a redução de produção de sedimentos, mesmo que o balanço continuasse negativo, isso porque em diversas regiões, o esforço para tornar o balanço positivo seria muito grande, fugindo da capacidade de contribuição de redução do produtor rural. Com isso, o estabelecimento de metas progressivas contribui para que as alterações nos usos e manejos do solo na bacia sejam realizadas em etapas, considerando a viabilidade econômica e capacidade de contribuição do produtor rural. A figura 01 (Poloni, 2010) apresentada na revisão bibliográfica exemplificou o objetivo do estabelecimento da meta de redução, considerando o cenário desejável para a bacia ( $TPS-PS \geq 0$ ) e o papel de cada agente nesse processo de redução de produção de sedimentos.



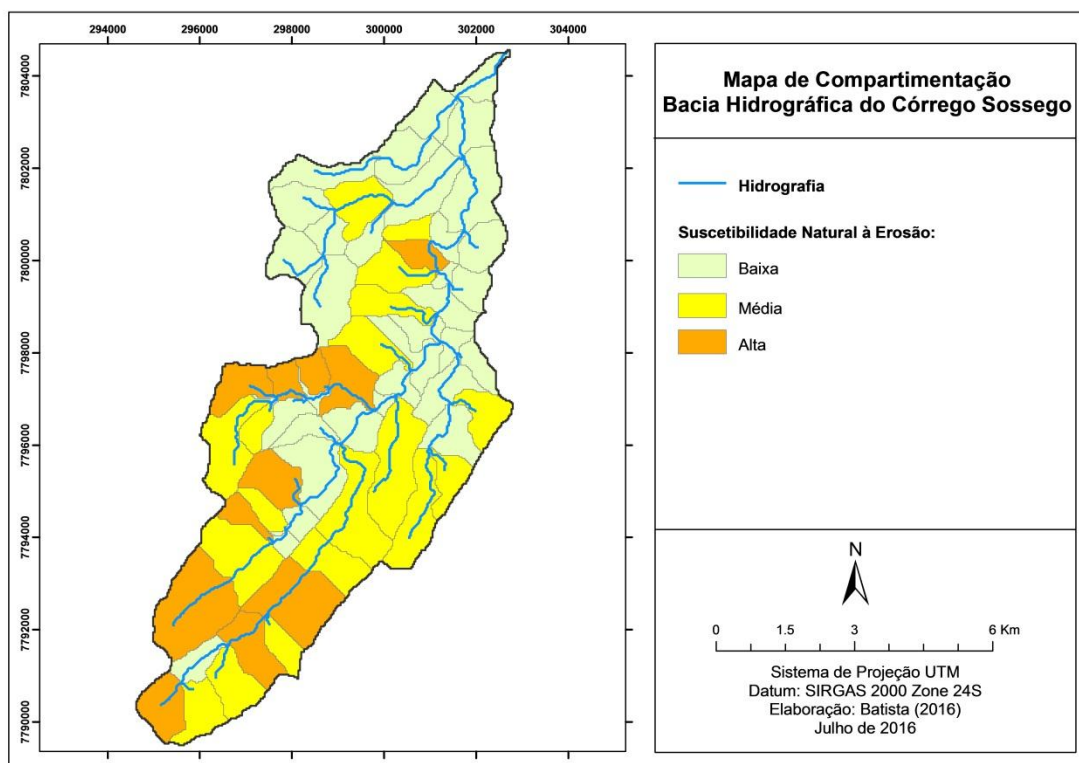
A etapa de compartimentação da bacia hidrográfica, conforme apresentada na metodologia, dividindo a bacia em compartimentos homogêneos em relação à suscetibilidade natural à erosão e a etapa de construção de cenários alternativos para a redução de perda de solo, através da alteração dos fatores C (uso e cobertura do solo) e P (práticas conservacionistas), serão apresentadas nos tópicos a seguir, e foram de fundamental importância para tornar participativa a elaboração de estratégias de redução de produção de sedimentos nas bacias hidrográficas, utilizando cenários realísticos e que de fato podem ser aplicados na bacia, levando-se em conta os aspectos ambientais, sociais e econômicos da região. Após essa etapa, foi feita a avaliação dos cenários simulados para as regiões estratégicas selecionadas para a bacia. Os resultados de todas as etapas da estratégia proposta estão apresentados nos tópicos a seguir.

#### 5.2.3.1 Compartimentação da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

Tomando por base a metodologia de Ribeiro & Salomão (2003) e utilizando-se dos dados pedológicos e de declividade da região foram criados três compartimentos, intimamente ligados às características naturais da bacia.

O mapa 10 apresenta as regiões compartimentadas da bacia hidrográfica do Córrego do Sossego.

Mapa 10: Mapa de compartimentação da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego.



Os compartimentos da bacia hidrográfica relacionados à suscetibilidade natural à erosão foram classificados, a partir da sobreposição dos mapas pedológicos e de declividade, como de baixa, média e alta suscetibilidade. Essa classificação teve como fatores mais relevantes os tipos de solo e a topografia. É importante ressaltar que os dados climáticos não foram considerados nessa etapa, por serem homogêneos em toda a área da bacia. A escolha dos cenários alternativos de uso do solo e manejo agrícola para cada sub-região da bacia esteve condicionada às características naturais apontadas no mapa de compartimentação, dando ênfase nas potencialidades e limitações de cada sub-região da bacia hidrográfica.

A classificação de suscetibilidade natural à erosão realizada foi de suma importância para a construção dos cenários alternativos, pois a partir dela foi possível verificar as regiões que naturalmente suportariam menores esforços nos solos através dos usos e manejos, assim como aquelas que se apresentavam naturalmente mais resistentes em relação à sua pedologia e topografia, e assim serem capazes de suportar maiores esforços nos solos, apontando usos e manejos mais adequados para as sub-regiões. Os usos do solo escolhidos para as simulações dos cenários alternativos estiveram condicionados às particularidades

de cada região, levando-se em consideração a sua suscetibilidade natural à erosão.

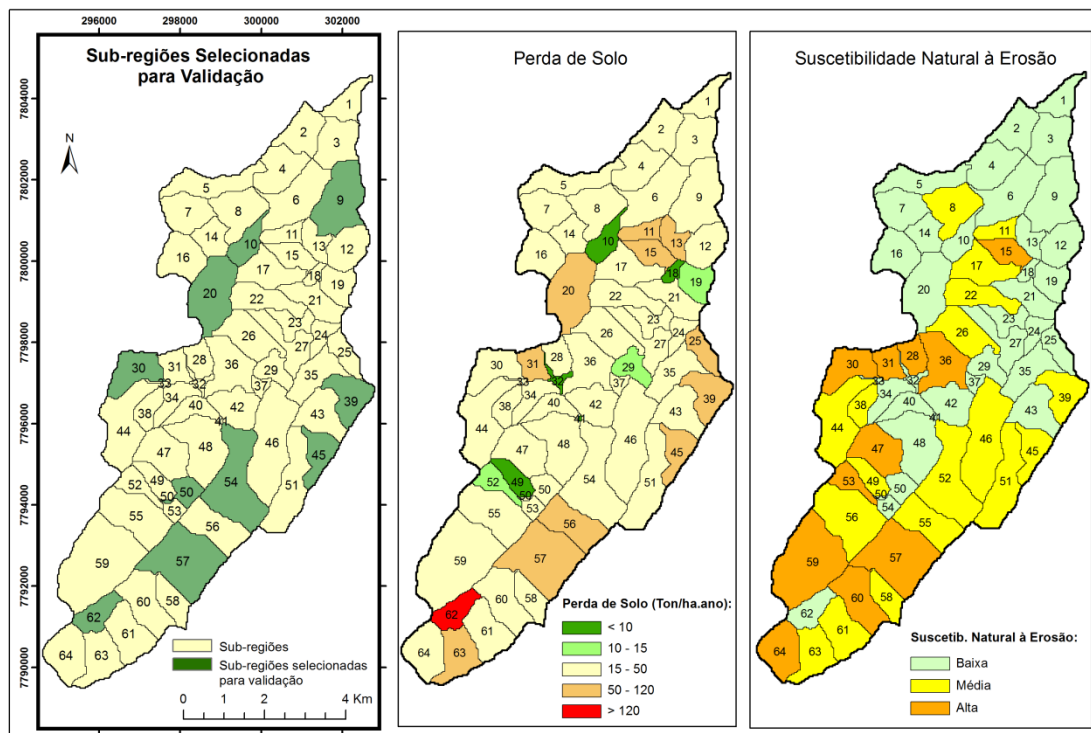
#### 5.2.3.2 Construção participativa de cenários alternativos para a redução da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

O processo de construção participativa de cenários alternativos para redução das taxas de produção de sedimentos na bacia se deu por meio de oficina realizada com os produtores rurais da área de estudo, em parceria com técnicos do Incaper e foi composta por três importantes etapas: validação dos resultados obtidos nas simulações com o modelo SWAT, seleção de regiões estratégicas para simulação dos cenários alternativos, e por fim, a definição dos usos e manejos do solo possíveis de serem adotados na bacia, considerando, além dos aspectos ambientais, a situação social e econômica dos produtores rurais da bacia. Os questionários aplicados e as discussões acerca da temática entre os produtores rurais, técnicos do Incaper e pesquisadores do Laboratório de Gestão de Recursos Hídricos e Desenvolvimento Regional foram fundamentais para a construção dos cenários alternativos, pois através deles, foi possível caracterizar toda a bacia, levando-se em consideração todos os aspectos associados ao desenvolvimento da bacia e capacidade de intervenção de cada produtor rural no processo de redução das taxas de produção de sedimentos em suas propriedades e na bacia. Os resultados das etapas de construção participativa dos cenários alternativos estão apresentados a seguir.

##### **5.2.3.2.1 *Validação dos resultados obtidos nas simulações realizadas com o modelo SWAT***

A validação das informações referentes aos mapas de perda de solo da bacia e compartimentação da bacia hidrográfica foi feita por meio da escolha de 10 sub-regiões da bacia hidrográfica, com o intuito de verificar se as informações obtidas nas simulações feitas pelo modelo SWAT representavam a realidade local. As sub-regiões da bacia hidrográfica selecionadas para a validação das informações obtidas nas simulações na oficina realizada estão apresentadas no mapa 11.

Mapa 11: Mapas utilizados na validação das informações em oficina com produtores rurais da Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego



As 10 sub-regiões foram escolhidas de forma que pelo menos uma delas estivessem dentro de cada um dos compartimentos de suscetibilidade natural à erosão (baixa, média e alta), pelo menos uma delas estivessem em cada uma das classes de perda de solo, além disso, foram priorizadas as sub-regiões que tinham representantes na oficina realizada com os produtores no município de Itarana - ES (região onde se localizam suas respectivas propriedades).

Como foram aplicados dois questionários na oficina, um com questões referentes à propriedade de cada produtor rural e o segundo contemplando a percepção do produtor para toda a região da bacia foi possível validar as informações referentes aos usos do solo, apontar os manejos agrícolas adotados em cada sub-região da bacia, além de verificar quais eram as áreas de maior criticidade em relação aos processos erosivos.

A primeira figura apresentada na oficina para os produtores rurais e técnicos do Incaper foi o mapa com as sub-regiões selecionadas para validação (mapa 11). A partir desse mapa, e levando em consideração as 10 sub-regiões selecionadas, os produtores foram submetidos à questões que tinham como objetivos validar as

informações obtidas no mapa de compartimentação da bacia, por isso foi perguntado aos presentes quais eram as características pedológicas e topográficas de cada região, e como eles viam a capacidade natural de resistência das sub-regiões em relação aos processos erosivos. Após a discussão, o mapa com os resultados das regiões compartimentadas foi apresentado a todos os presentes na oficina. O mesmo passo foi feito para verificar as informações referentes às taxas de perda de solo para as 10 sub-regiões escolhidas. Antes de apresentar os resultados obtidos na simulação com o SWAT, houve uma discussão acerca de cada uso e manejo do solo adotado nas sub-regiões e a percepção de cada produtor sobre a criticidade de processos erosivos em cada sub-região. Após longa e produtiva discussão, foi apresentado o mapa com os resultados referentes à produção de sedimentos.

Analisando-se os resultados dos questionários aplicados e as discussões entre os produtores rurais, técnicos do Incaper e pesquisadores do Laboratório de Gestão de Recursos Hídricos e Desenvolvimento Regional acerca da temática, observou-se que todas as áreas da bacia apontada por eles como áreas críticas em relação à perda de solo, foram as que realmente apresentavam as maiores taxas de perda de solo, apontadas pela modelagem no SWAT. Na percepção dos produtores rurais, assim como nas simulações realizadas com o SWAT, as áreas mais críticas foram as de pastagem degradada, solo exposto e áreas de preparo do solo para o plantio.

As informações obtidas nas simulações, ao serem comparadas com aquelas obtidas na oficina com os produtores rurais, permitiram observar a convergência das informações entre o saber técnico e o saber local, conforme observado por Lopes (2008). Os saberes se complementam e essa junção foi de suma importância para fortalecer a escolha de usos e manejos agrícolas possíveis de serem adotados na região e garantir a aplicação desses cenários na bacia, uma vez que foram elaborados tomando por base as potencialidades econômicas, sociais e naturais locais.

A oficina realizada para a construção dos cenários alternativos foi de fundamental importância para esse trabalho, pois as experiências compartilhadas entre

pesquisadores e produtores rurais enriqueceram todos os resultados obtidos nas etapas de simulação dos cenários alternativos. Todos os presentes na oficina contribuíram significativamente para a caracterização e validação das informações sobre a bacia hidrográfica, pois eles tinham grande conhecimento sobre as características naturais da região e os impactos dos usos e manejos adotados em suas propriedades nos processos erosivos. A complementariedade do saber local com a ciência foi fundamental para que todos os cenários alternativos simulados e propostos nesse trabalho representassem a realidade local, além disso, o saber de cada produtor inserido na gestão da bacia hidrográfica deu a eles a oportunidade de expor os cenários almejados para a bacia e de certa maneira contribuir para a melhoria das condições de vida dos produtores rurais, que são os mais afetados pelos impactos ambientais, econômicos e sociais decorrentes dos processos erosivos, além do fortalecimento da participação na gestão da bacia hidrográfica.

Quando o saber local é valorizado na gestão territorial, as comunidades se tornam importantes dentro do processo de tomada de decisão. Essa valorização faz com que eles se sintam responsáveis pelos problemas relacionados aos processos erosivos e as chances das alternativas apontadas como solução para minimizá-los aumentam consideravelmente, pois eles tomam o problema para si (LOPES, 2011; TORO E DUARTE, 1997).

Figura 9: Verificação de usos do solo e práticas agrícolas na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego





Figura 10: Oficina realizada com produtores rurais do Córrego do Sossego.



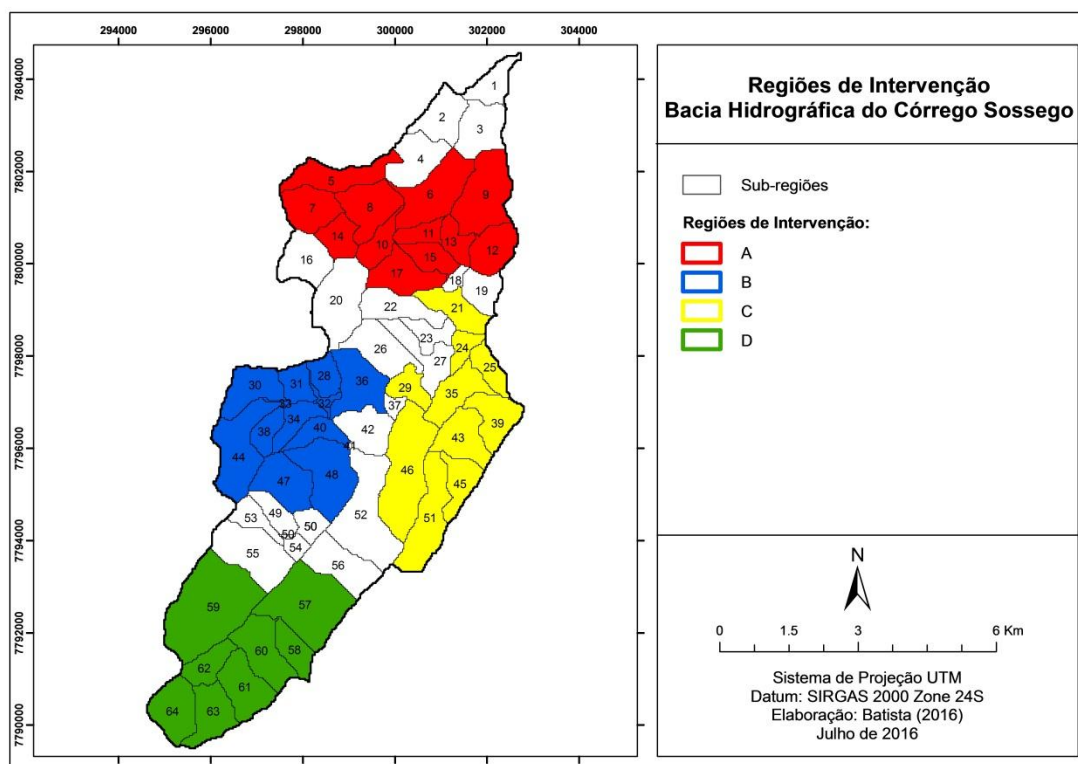
Figura 11: Oficina realizada com produtores rurais do Córrego do Sossego



#### ***5.2.3.2 Seleção de áreas prioritárias de intervenção para simulação dos cenários alternativos para redução de produção de sedimentos***

As áreas prioritárias de intervenção na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego foram selecionadas a partir da caracterização da bacia e das informações coletadas na oficina com os produtores rurais e os técnicos do Incaper. As regiões selecionadas A, B, C e D são apresentadas no mapa 12.

Mapa 12: Regiões selecionados para intervenção



Com o objetivo de simular o impacto na produção de sedimentos nessas áreas, tomando-se por base a distribuição espacial dos solos, combinações de uso do solo e manejo agrícola e levando em consideração as sub-regiões que apresentavam maiores perdas de solo na bacia, resultado do diagnóstico atual de produção de sedimentos (mapa de perda de solo) e validado na oficina, em função de grandes áreas de pastagem degradada e áreas de solo exposto, essas regiões foram selecionadas. Além disso, foram consideradas as áreas onde os usos dos solos atuais poderiam ser substituídos, assim como adoção de práticas de manejo agrícola, por aqueles que oferecessem uma maior cobertura do solo e redução dos processos erosivos, sem que isso colocasse em risco a situação econômica e social dos produtores. Com isso, cenários alternativos foram definidos para essas regiões, considerando principalmente as características naturais da bacia. Para isso, os mapas de compartimentação da bacia hidrográfica (mapa 10) e de tolerância à perda de solo (mapa 8), foram fundamentais, pois eles apresentam as classes de suscetibilidade natural à erosão e os limites de tolerância à perda de solo que assegure a sua capacidade produtiva.



Tabela 10: Características da regiões selecionadas para aplicação da estratégia

<b>Região A</b>	<b>Apresenta baixa suscetibilidade natural à erosão, altas taxas de tolerância à perda de solo e perdas de solo classificadas como média (15 a 50 ton/ha.ano)</b>
<b>Região B:</b>	Apresenta alta suscetibilidade natural à erosão, baixas taxas de tolerância à perda de solo e perdas de solo classificadas como média (15 a 50 ton/ha.ano)
<b>Região C</b>	Apresenta média suscetibilidade natural à erosão, baixas taxas de tolerância à perda de solo e perdas de solo média a forte (15 a 50 ton/ha.ano e 50 a 120 ton/ha.ano)
<b>Região D</b>	Apresenta alta suscetibilidade natural à erosão, altas taxas de tolerância à perda de solo e perdas de solo média a forte (15 a 50 ton/ha.ano e 50 a 120 ton/ha.ano)

As informações trazidas nesses dois mapas produzidos para a área de estudo nortearam as escolhas referentes às combinações de tipo de solo – uso e cobertura do solo – manejo agrícola. É importante ressaltar que apesar de não restringir nenhum uso ou manejo para os diversos tipos de solo, eles apontam como a região vai se comportar em relação aos usos e manejos adotados, baseando-se nas suas características naturais, principalmente relacionadas ao tipo de solo e topografia do terreno. As características físicas dos solos, relacionadas à sua estrutura, textura, permeabilidade e densidade, assim como as propriedades biológicas e químicas exercem influências distintas nos processos erosivos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Para isso, na seleção das regiões A, B, C e D foram consideradas as suas particularidades, de forma a realizar as alterações dos usos e manejos específicos em cada uma delas e atender aos anseios dos produtores rurais no que diz respeito à redução de perda de solo em áreas críticas dentro da bacia piloto.

A busca por regiões estratégias na bacia se apresenta como uma boa ferramenta de análise, uma vez que, objetivando a redução dos impactos ambientais em bacias hidrográficas que apresentam altas taxas de produção de sedimentos, mas que por limitação, seja de ordem econômica, política, social, entre outras, não tenha capacidade de intervir em todas as áreas críticas da bacia, é possível escolher, dentre as regiões selecionadas, aquelas que necessitem de maior

atenção, levando-se em consideração os interesses para a bacia. As regiões selecionadas se diferem em suas características naturais e na sua capacidade de resistir aos processos erosivos, com isso, os agentes envolvidos no processo de gestão, podem selecionar, de acordo com os interesses e os recursos financeiros disponíveis, as melhores regiões e as mais prioritárias para adoção das medidas de conservação dos recursos naturais.

#### ***5.2.3.2.3 Construção de cenários alternativos de uso e manejo do solo possíveis de serem adotados nas regiões estratégicas selecionadas***

Tomando por base os questionários aplicados e discussões acerca da adoção de estratégias de uso do solo e práticas conservacionistas, foram descritos os usos alternativos do solo possíveis de serem adotados na bacia, considerando os aspectos econômicos e sociais dos produtores rurais.

- Nas áreas destinadas aos cultivos temporários, os produtores não se dispuseram a realizar experiências com outras culturas, uma vez que essas áreas apresentam rápida rotatividade de culturas e oferecem a eles um bom retorno financeiro. Além disso, as taxas de perda de solo nessas áreas foram pequenas, pois eles realizavam um manejo adequado nos solos.
- Nas áreas de cultivo de banana e café a alteração por outras culturas se tornaria inviável economicamente, pois segundo os produtores rurais, esses cultivos são os que lhes garantem o maior retorno financeiro, além disso, em seu estágio maduro, estabelecerem uma boa cobertura do solo e se manejados de forma adequada, as taxas de produção de sedimentos podem ser bastante reduzidas.
- As áreas de pastagem foram as que mais sofreram alterações nesse processo de construção de cenários alternativos, pois além de ocuparem a maior parte da bacia, elas apresentavam-se bastante degradadas e em alguns locais com grandes porções de solo exposto. Com isso, eles se dispuseram a aceitar as alternativas de práticas conservacionistas e inserção de espécies frutíferas que segundo eles é uma ótima alternativa de

mercado, além de oferecerem maior cobertura do solo, respeitando as orientações dadas a cerca da legislação florestal.

A partir dessas considerações e tomando por base as características naturais das regiões selecionadas, apontadas pelo mapa de compartimentação da bacia, foram definidos os seguintes cenários para serem simulados pelo modelo SWAT.

**Cenário 1:** Nesse cenário, as alterações foram realizadas na região A, composta pelas sub-regiões 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 17. Foi feita a substituição das áreas de pastagem da seguinte forma: 50% da área por espécies frutíferas já cultivadas na região e os outros 50%, realização do melhoramento das condições de cobertura do solo nas áreas de pastagem, que atualmente se apresentam similares às áreas de solo exposto. Essas duas alternativas foram apontadas na oficina com os produtores rurais. Além disso, foram adotadas práticas de manejo agrícola nos cultivos de café, banana, temporários e permanentes em toda a região A.

**Cenário 2:** Nesse cenário, as alterações foram realizadas na região B, composta pelas sub-regiões 28, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 38, 40, 44 e 47. Nessa região, foram substituídas as áreas de pastagem por vegetação nativa e eucalipto, e foram adotadas práticas de manejo agrícola nos cultivos de café, banana, cultivos temporários e permanentes.

**Cenário 3:** Nesse cenário, as alterações foram realizadas na região C, composta pelas sub-regiões 21, 24, 25, 29, 35, 39, 43, 45, 46 e 51. As alterações de uso e cobertura do solo foram realizadas nas áreas de solo exposto, sendo substituídas por gramíneas, 20% das áreas de pastagem foram substituídas por vegetação nativa, 40% das áreas de pastagem por espécies frutíferas, e os 40% restantes optou-se por manter área de pastagem, entretanto foram adotadas medidas para o melhoramento das condições de cobertura do solo, além disso, foram adotadas práticas de manejo agrícola nos cultivos de café, banana, cultivos temporários e permanentes.

**Cenário 4:** Nesse cenário, foram realizadas as alterações nas sub-regiões 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63 e 64, denominada região D. Foram substituídas as áreas de pastagem por vegetação nativa e eucalipto (60% da área) e por espécies frutíferas (40% da área), as áreas de solo exposto foram substituídas por vegetação nativa, além disso foram adotadas práticas adequadas de manejo agrícola nos cultivos de café, banana, cultivos temporários e permanentes.

#### 5.2.3.3 Simulação da produção de sedimentos na bacia considerando os cenários alternativos

A distribuição espacial média da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego é representada pelo mapa a seguir.

Mapa 13: Produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Córrego do Sossego após intervenções.

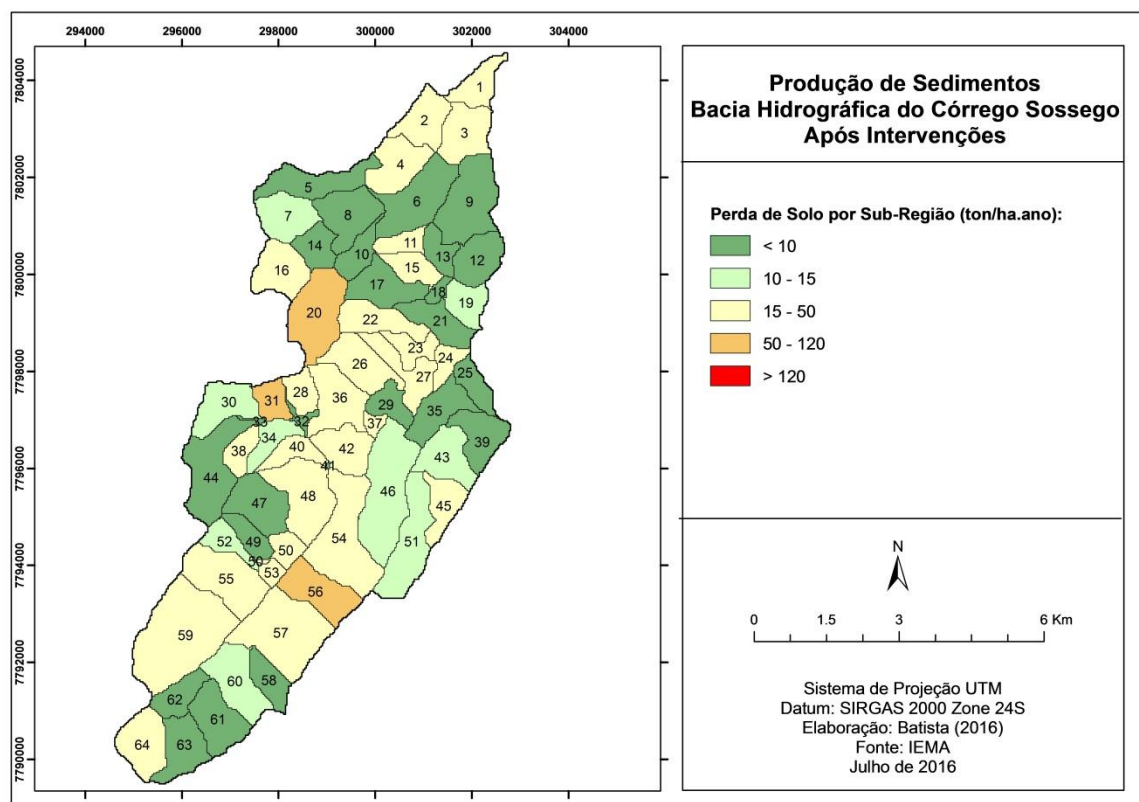


Tabela 11: Classes de perda de solo e as áreas ocupadas na bacia após as intervenções.

<b>CLASSES DE PERDA DE SOLO (ton/ha.ano)</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
<b>&lt; 10 – Nula a pequena</b>	1979,5	33,2
<b>10 a 15 – Moderada</b>	1150,6	19,3
<b>15 a 50 – Média</b>	2495,2	41,9
<b>50 a 120 – Média a forte</b>	332,8	5,6
<b>&gt; 120 – Forte</b>	0,0	0,0
<b>Total</b>	5958,1	100

Tomando por base os dados pedológicos, topográficos, climáticos em combinação com o uso e ocupação do solo e as práticas conservacionistas adotados nas regiões A, B, C e D através dos cenários alternativos, e analisando espacialmente a produção de sedimentos em toda a bacia, observou-se mudanças significativas nas taxas de produção de sedimentos. Cerca de 33,2% da bacia apresentou taxas de produção de sedimentos menores que 10 ton/ha.ano, perda de solo nula a pequena, segundo Carvalho (1994). Antes das intervenções realizadas, apenas 2,3% da bacia estavam dentro dessa classificação. Observou-se também impacto muito positivo nas regiões classificadas como moderada em relação à perda de solo (10 a 15 ton/ha.ano) que, antes da intervenção representavam cerca de 2,7% da área da bacia (164 ha), e após a realização das intervenções nos usos do solo e manejo agrícola, passaram a representar cerca de 19,3% da área da bacia (1150,67 ha). Houve uma diminuição de regiões que apresentavam taxas de perda de solo de 15 a 50 ton/ha.ano (perda de solo média), saindo de 76,3% da área da bacia para 41,9% da bacia após as intervenções realizadas. As regiões que apresentavam taxas de perda de solo média a forte (50 a 120 ton/ha.ano) representavam cerca de 17,5% da área da bacia e após a intervenção através dos cenários alternativos, elas passaram a representar cerca de 5,6% da área da bacia. E as regiões com taxas de produção de sedimentos maior que 120 ton/ha.ano que representavam cerca de 1% da área da bacia, após as intervenções realizadas, não houve mais nenhuma região produzindo essa quantidade de sedimentos.

As taxas de produção de sedimentos em todas as sub-regiões após as intervenções foram utilizadas para a composição do indicador TPS-PS e os resultados referentes ao indicador serão avaliados a seguir.

#### 5.2.3.4 Avaliação das simulações realizadas e da aplicabilidade do indicador TPS-PS na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego

Após as simulações dos cenários alternativos de uso e manejo do solo realizadas através do modelo SWAT, os resultados obtidos para cada região da bacia estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12: Resultado das taxas de produção de sedimentos nas regiões selecionadas para aplicação da estratégia

Dados	Região			
	A	B	C	D
Área da região (ha)	1099,5	774,9	977,5	1106,9
Percentual da área total (%)	18,4	13,0	16,4	18,5
Área de intervenção da região (ha)	754,7	357,1	734,7	463,9
Percentual da área de intervenção em relação à área total (%)	12,6	5,9	12,3	7,7
Perda de solo atual (ton/ha.ano)	438,2	372,2	425,5	468,9
Perda de solo após intervenção (ton/ha.ano)	101,9	180,3	92,1	69,8
Percentual de redução de perda de solo na região (%)	76,7	51,5	78,3	85,1
Percentual de redução de perda de solo na bacia (%)	14,7	8,4	14,6	17,5
Percentual de redução em relação à META estabelecida (%)	49,2	28,1	48,8	58,4

A tabela apresenta as taxas de perda de solo antes e após as intervenções realizadas, bem como o percentual de redução de perda de solo na bacia e a suas respectivas reduções em relação à meta estabelecida na estratégia para a bacia. Os resultados obtidos para cada cenário serão apresentados a seguir.

#### - Cenário 1

- Atualmente, a região A é responsável por cerca de 18,4% da perda de solo total da bacia, apresentando taxa de produção de sedimento anual de 438,2 t/ha. Grande parte da região apresenta relevo fortemente ondulado a montanhoso. Os solos predominantes nessa região são os latossolos e argissolos, em porcentagens similares dentro da região. Na pequena parcela

de relevo plano a suavemente ondulado da região, encontram-se neossolos litólicos e flúvicos. Cerca de 60% dos solos da região são cobertos por pastagem e o restante é composto por cultivos de café, banana, temporários e permanentes. Em algumas sub-regiões observou-se a presença de floresta nativa em pequenas parcelas. Na sobreposição dos mapas de uso do solo e hidrografia da bacia, foi observado que próximo aos cursos d'água, existiam áreas de pastagem e cultivos agrícolas, quando na verdade, o adequado seria manter as áreas de matas ciliares, para evitar o carreamento de sedimento para os cursos d'água.

- As maiores taxas de produção de sedimentos foram observadas na combinação área de pastagem/argissolos/relevo fortemente ondulado. Na bacia hidrográfica do Córrego do Sossego, grande parte das áreas de pastagem apresentavam condições de cobertura do solo muito similares às áreas de solo exposto. Diante disso, e tomando por base a combinação de argissolos, que possuem menores taxas de tolerância à perda de solo, em decorrência principalmente do seu alto valor de erodibilidade, e relevos muito acentuados, explicam-se as altas taxas de produção de sedimentos obtidas nessas áreas.
- Nas regiões onde existiam latossolos, apesar de apresentarem maiores taxas de tolerância à perda de solo, os fatores relacionados ao relevo e à cobertura do solo foram mais significativos, explicando-se assim, a similaridade de taxas de produção de sedimentos entre as sub-regiões de A. Em todas as sub-regiões, o indicador TPS-PS foi negativo, com taxas anuais de perda de solo na faixa de 15 a 50 t/ha.
- Após a substituição das áreas de pastagem por espécies frutíferas já cultivadas na região, observou-se uma redução significativa nas taxas de perda de solo, uma vez que elas proporcionaram maior cobertura do solo. Além disso, o aumento da produção de espécies frutíferas na região garante aos produtores rurais um incremento em sua renda, considerando que essas áreas de pastagem atualmente se assemelham a solos expostos e não geram nenhum retorno financeiro para os produtores. A adoção de cultivos

em nível, terraços e cobertura morta no solo também foram significativas para a redução dos processos erosivos em toda a região, que é responsável por 19% da perda de solo na bacia hidrográfica. Ela possui 1099 hectares (18,4% da área total da bacia), entretanto as intervenções foram realizadas em 754,7 hectares (cerca de 12,6% da área total da bacia), mantendo-se as áreas de florestas e eucalipto. Após as intervenções, houve redução de 76,7% nas taxas de produção de sedimentos na região A.

- Levando-esses números para toda a área da bacia, e considerando as alterações realizadas somente na região citada, mantendo todas as características do restante da bacia, essa diminuição ocasionou uma redução de 14,7% de perda de solo em toda a bacia. Analisar o impacto das intervenções na região citada e compará-lo à bacia hidrográfica como um todo, tem como objetivo garantir o cumprimento de metas para a bacia, estabelecidas nesse trabalho.

## **- Cenário 2**

- As alterações na região B visaram a conservação das áreas, optando-se por substituir as áreas de pastagem por vegetação nativa e eucalipto uma vez que são áreas com alta suscetibilidade natural à erosão. Além disso, foram adotadas as mesmas práticas de manejo agrícola da região A para os cultivos de café, banana, temporários e permanentes. A priori, seria adotado somente vegetação nativa nas áreas de pastagem, entretanto, os produtores rurais da região presentes na oficina sugeriram que fosse cultivado nessas áreas também o eucalipto, pois se manejado de forma correta, além de oferecer maior cobertura ao solo quando comparado as áreas de pastagens existentes, poderia trazer um ganho econômico para a região.
- A região B é composta basicamente por argissolos, cerca de 95 % da região, e o restante é composto por pequenas parcelas de neossolos. Grande parte da região apresenta relevo fortemente ondulado a montanhoso. As pequenas parcelas de relevo plano a suavemente ondulado se encontram na porção leste da região. Nas partes mais altas se encontram



as áreas de pastagem, enquanto que nas partes mais baixas são encontrados os cultivos de café, banana, temporários e permanentes. A região também apresenta várias áreas de solo exposto em regiões de maior declividade.

- A região possui uma área de 774,95 hectares (13% da área total) mas as alterações foram realizadas em cerca de 357,11 hectares (cerca de 5,9% da bacia). Considerando o uso atual, nas simulações foi obtida taxa de produção de sedimento anual de cerca de 372,2 t/ha (16,3% da perda na bacia). Após realizar as intervenções, houve redução de 52% nas taxas de perda de solo na região B. Analisando-se o impacto dessas intervenções em toda a bacia hidrográfica, houve redução de 10% na produção de sedimento na bacia hidrográfica. Considerando que o tipo de cobertura predominante nas áreas mais acentuadas foi a vegetação nativa, a compreensão dessa redução nas taxas de produção de sedimentos fica fácil, uma vez que além de funcionar como barreira de sedimentos, a vegetação nativa apresenta níveis muito baixos de produção de sedimentos (LAGROTTI, 2000).

### **- Cenário 3**

- Considerando as características naturais da região, as intervenções na região C foram feitas tomando por base as baixas taxas de tolerância à perda de solo, com o objetivo de assegurar a capacidade produtiva dos solos e uma produção agrícola sustentável. Os solos predominantes na região são os argissolos e pequenas parcelas de latossolos e neossolos, na parte sul e central da região, respectivamente, e a região é composta por relevo fortemente ondulado a montanhoso. Assim como nas outras regiões, as áreas de pastagem degradada compõem a maior parte da região, além da presença de áreas de solo exposto. Entretanto, foi possível perceber também grande quantidade de cultivos de café, banana, cultivos temporários e permanentes. Com isso, a estratégia adotada visou garantir maior cobertura do solo, o aumento das áreas de cultivos agrícolas e ao mesmo tempo assegurar a redução das taxas de produção de sedimento em conformidade com os limites de tolerância à perda de solo estabelecidos.

Por isso, nas áreas de pastagem, que atualmente se encontravam degradadas, uma parcela foi substituída por vegetação nativa em áreas mais declivosas, outra parcela por espécies frutíferas e o restante optou-se por manter áreas de pastagem, melhorando as suas condições de cobertura do solo, de forma a oferecer maior proteção.

- A região possui área de 977,59 hectares, cerca de 16,4% da área total da bacia, entretanto as intervenções foram realizadas em 734,7 hectares (12,3% da área da bacia). Com os usos e manejos agrícolas adotados atualmente, a região é responsável por cerca de 19% da produção de sedimentos total da bacia, cerca de 425,56 t/ha.ano. Após as alterações de uso e cobertura do solo e adoção de práticas conservacionistas adequadas houve redução de 78% na taxa de produção de sedimentos na região, e isso ocasionou redução de cerca de 15% na produção de sedimentos na bacia hidrográfica.

#### **- Cenário 4**

- A região apresenta características distintas das demais apresentadas, uma vez que, apesar de apresentar alta suscetibilidade natural à erosão, ela apresenta altas taxas de tolerância à perda de solo. Os solos predominantes na região são os latossolos, seguidos de argissolos e uma pequena parcela de gleissolos. Analisando as taxas de produção de sedimentos atuais, observou-se que a região apresentava altas taxas de perda de solo, isso porque além de ser composta por relevos muito acentuados, a região também apresentava diversas áreas de solo exposto. Uma característica positiva é a presença de grandes áreas de vegetação nativa, mas apesar disso, a falta de manejo adequado e as grandes áreas de solo exposto foram responsáveis pelas taxas altas de produção de sedimentos, classificadas como de média intensidade de acordo com Carvalho (1994) (15 a 50 ton/ha.ano) e em algumas regiões, essas taxas ultrapassaram 120 ton/ha.ano, sendo classificadas como forte (CARVALHO, 1994).

- Tomando por base as características naturais da bacia, optou-se por substituir as áreas de pastagem por vegetação nativa e eucalipto (60% da área) e por espécies frutíferas (40% da área), além de substituir todas as áreas de solo exposto por vegetação nativa. Todas as áreas de cultivo de café, banana, cultivos temporários e permanentes receberam práticas adequadas de manejo agrícola. Essas alterações fizeram com que as taxas anuais de produção de sedimentos que representavam cerca de 20% da perda de solo total da bacia, representassem apenas 2%. É importante ressaltar que as alterações realizadas na região resultaram em reduções de cerca de 85,1% de produção de sedimentos na região D. As alterações foram realizadas em 463,9 hectares (7,8% da bacia), uma parcela da área total, que possui 1006,9 hectares (18,5% da bacia).

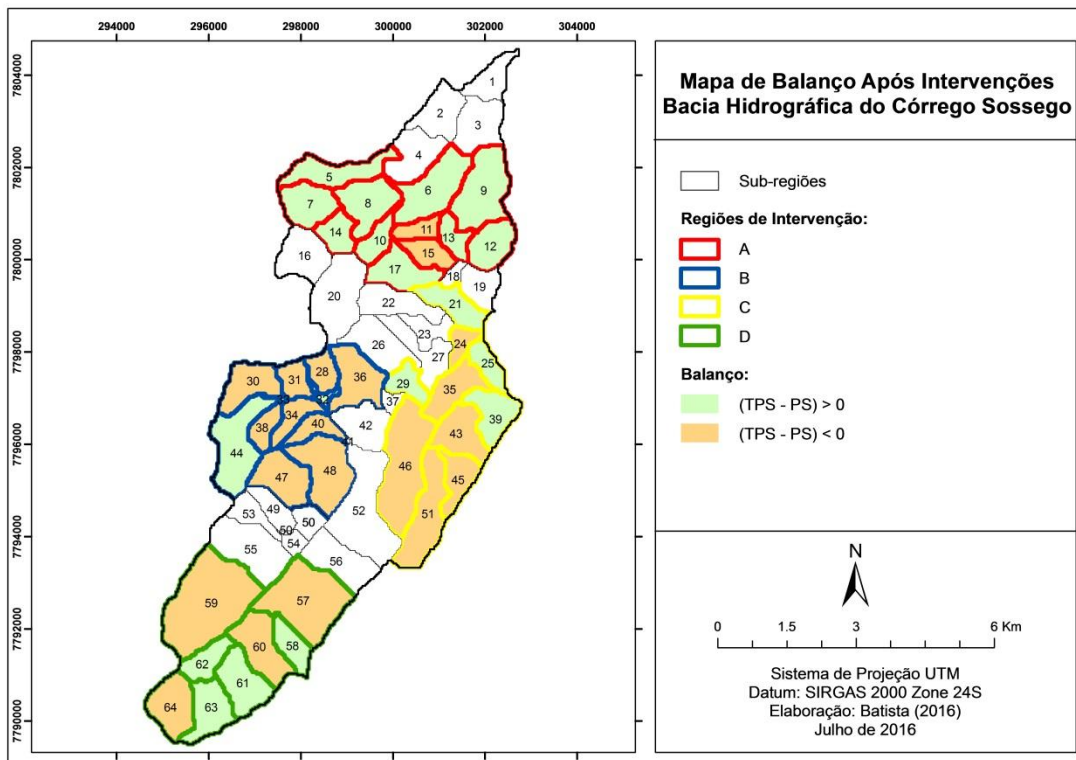
Analisando-se a produção de sedimentos em toda a bacia do Córrego do Sossego, e levando em consideração o relevo local, foi observado que as taxas de perda de solos resultantes da modelagem apresentaram maiores valores nas partes mais altas da bacia, principalmente onde existiam áreas de pastagem. Isso ocorreu, pois as áreas de pastagem estavam bastante degradadas e não ofereciam boa cobertura do solo.

Já nas regiões com alta declividade, que tinham como cobertura do solo a vegetação nativa, as taxas de produção de sedimentos foram menores comparando-se com a situação descrita acima, isso porque a densa vegetação, além de oferecer melhor cobertura, contribuiu para a diminuição do impacto das gotas de chuva no solo.

Em algumas partes baixas da bacia, devido à forte exploração de cultivos agrícolas e intensificação do uso dos solos, houve altas taxas de produção de sedimentos, principalmente nas regiões destinadas ao cultivo de espécies temporárias. Em visita ao local para validação do mapa de uso e cobertura do solo, foi possível perceber que no período de preparo do solo, essas áreas ficavam totalmente expostas.

A distribuição do indicador balanço TPS-PS para as sub-regiões selecionadas é apresentada no mapa 14.

Mapa 14: Mapa do indicador Balanço TPS-PS após intervenções



Diante das informações apresentadas no mapa do balanço TPS-PS, após as intervenções realizadas, foi possível perceber que em diversas sub-regiões houve diminuição significativa nas taxas de produção de sedimentos, garantindo assim a conformidade com os limites de tolerância à perda de solo nas sub-regiões e tornando positivo o balanço TPS – PS. Entretanto, algumas sub-regiões, mesmo após as intervenções, através das alterações de uso do solo e o manejo agrícola, continuaram com taxas de perda de solo acima dos limites de tolerância (TPS – PS < 0). Com isso, para obtenção de melhores resultados nessas sub-regiões, fazem-se necessárias novas intervenções, de forma a reduzir ainda mais as taxas de perda de solo. Ressalta-se que nessas sub-regiões, apesar do indicador apontar um balanço negativo (TPS - PS < 0), em todas elas houve reduções muito significativas de produção de sedimentos, e apesar de não estarem em conformidade com os limites estabelecidos de tolerância, as intervenções realizadas são relevantes para a bacia. As tabelas 13, 14, 15 e 16 a seguir

mostram de forma mais clara as taxas de produção de sedimentos atuais, assim como os valores obtidos após as intervenções.

Tabela 13: Resultados do indicador TPS-PS na região A.

<b>REGIÃO A Sub- regiões</b>	<b>Tolerância à perda de solo (ton/ha.ano)</b>	<b>Perda de solo atual (ton/ha.ano)</b>	<b>Balanço (TPS - PS)</b>	<b>Perda de solo após intervenção (ton/ha.ano)</b>	<b>Balanço (TPS - PS)</b>
<b>5</b>	10,0	42,9	-32,8	7,1	2,8
<b>6</b>	8,3	38,5	-30,1	6,1	2,2
<b>7</b>	10,4	35,7	-25,2	10,0	0,4
<b>8</b>	8,8	23,1	-14,3	7,5	1,2
<b>9</b>	7,7	37,1	-29,3	4,8	2,9
<b>10</b>	9,8	9,6	0,1	2,0	7,8
<b>11</b>	7,6	55,4	-47,7	18,5	-10,8
<b>12</b>	8,2	31,0	-22,7	5,5	2,6
<b>13</b>	9,1	56,5	-47,3	2,0	7,1
<b>14</b>	9,5	29,3	-19,8	2,3	7,1
<b>15</b>	6,4	53,9	-47,5	34,2	-27,8
<b>17</b>	6,8	24,8	-18,0	1,5	5,2

Através dos dados da tabela 13, foi possível perceber que a região A obteve os melhores resultados para o indicador balanço TPS-PS. Apenas as sub-regiões 11 e 15 apresentaram valores negativos (TPS–PS < 0). Entretanto, nessas sub-regiões houve redução de 66,6% e 36,5% de produção de sedimentos, respectivamente. Tomando-se por base a meta de redução de produção de sedimentos na bacia, os resultados obtidos na região A representam cerca de 47% para o alcance da meta da bacia.

Tabela 14: Resultados do indicador TPS-PS na região B

<b>REGIÃO B Sub- regiões</b>	<b>Tolerância à perda de solo (ton/ha.ano)</b>	<b>Perda de solo atual (ton/ha.ano)</b>	<b>Balanço (TPS - PS)</b>	<b>Perda de solo após intervenção (ton/ha.ano)</b>	<b>Balanço (TPS - PS)</b>
<b>28</b>	6,5	40,0	-33,5	26,2	-19,7
<b>30</b>	6,5	30,5	-23,9	14,3	-7,8
<b>31</b>	6,4	58,2	-51,8	51,3	-44,9
<b>32</b>	6,4	5,7	0,7	4,6	1,7
<b>33</b>	6,7	21,2	-14,5	6,6	0,1
<b>34</b>	6,7	41,0	-34,3	11,3	-4,6
<b>36</b>	6,5	38,2	-31,6	26,9	-20,3
<b>38</b>	6,7	43,4	-36,7	15,4	-8,7
<b>40</b>	6,6	36,8	-30,2	12,3	-5,6
<b>44</b>	6,7	18,7	-12,0	3,2	3,5
<b>47</b>	6,7	38,0	-31,3	7,9	-1,2

Os resultados apresentados da região B mostram que nessa região, apesar da estratégia de intervenção ter sido construída tomando por base as particularidades da região e adotando usos com objetivo de preservação, grande parte das sub-regiões continuaram sendo classificadas como críticas ( $TPS-PS < 0$ ). Entretanto, as reduções nas taxas de produção de sedimentos foram muito significativas. As sub-regiões 34, 40 e 47, por exemplo, apresentaram cerca de 70% de redução nas taxas de produção de sedimentos. Apesar de não estarem em conformidade com os limites estabelecidos, as intervenções foram importantes para a estratégia adotada e para o alcance da meta de redução estabelecida para a bacia. Os resultados obtidos representam cerca de 28% do total da meta estabelecida para a bacia.

Na região C, assim como na região B, algumas sub-regiões não apresentaram valores positivos para o indicador balanço TPS-PS, entretanto as intervenções não podem ser ignoradas, uma vez que, apesar de não garantirem a curto prazo a sustentabilidade dos solos na região, levando em consideração o indicador, elas contribuem para o alcance da meta de redução estabelecida para a bacia, pois representam cerca de 48% da meta. A partir de metas progressivas, que poderão ser definidas para a bacia, novos cenários podem ser construídos de forma a garantir o balanço positivo em todas as sub-regiões. A tabela 15 apresentam os resultados para a região C.

Tabela 15: Resultados do indicador TPS-PS na região C.

<b>REGIÃO C Sub- regiões</b>	<b>Tolerância à perda de solo (ton/ha.ano)</b>	<b>Perda de solo atual (ton/ha.ano)</b>	<b>Balanço (TPS - PS)</b>	<b>Perda de solo após intervenção (ton/ha.ano)</b>	<b>Balanço (TPS - PS)</b>
21	7,1	24,3	-17,1	2,6	4,4
24	7,1	41,9	-34,7	16,1	-9,0
25	6,9	58,5	-51,6	1,7	5,2
29	6,0	13,6	-7,5	2,5	3,5
35	6,4	38,6	-32,2	9,0	-2,6
39	6,5	59,6	-53,0	6,0	0,5
43	6,5	49,9	-43,3	10,4	-3,8
45	6,6	53,5	-46,8	19,4	-12,8
46	6,5	39,8	-33,3	11,2	-4,6
51	7,9	45,4	-37,4	12,7	-4,7

Os resultados da região D apresentados na tabela 16 mostram que a partir do cenário alternativo proposto, as taxas perda de solo diminuíram muito. Isso se deu porque nessa região, estavam concentradas as maiores áreas de solo exposto da bacia. Com a substituição dos usos do solo atuais por usos que oferecem maior cobertura do solo, o impacto foi muito positivo. Além disso, nessa região, a área de intervenção foi de apenas 463,9 ha (7% da área da bacia) e isso resultou em uma redução de 18% na produção de sedimentos na bacia. Tomando por base a meta de redução estabelecida para a bacia, esses valores representam quase 60% da meta. Assim como nas outras regiões, algumas áreas da bacia apresentaram balanço negativo, que apesar de continuarem apresentando situação crítica, as intervenções foram muito positivas para a redução nas taxas de produção de sedimentos e não podem ser ignoradas.

Tabela 16: Resultados do indicador TPS-PS na região D

<b>REGIÃO D Sub- regiões</b>	<b>Tolerância à perda de solo (ton/ha.ano)</b>	<b>Perda de solo atual (ton/ha,ano)</b>	<b>Balanço (TPS - PS)</b>	<b>Perda de solo após intervenção (ton/ha.ano)</b>	<b>Balanço (TPS - PS)</b>
57	6,8	57,4	-50,6	18,8	-11,9
58	7,3	42,1	-34,7	7,2	0,1
59	7,5	31,3	-23,7	15,5	-8,0
60	7,8	43,3	-35,4	10,9	-3,0
61	10,0	22,6	-12,6	8,2	1,7
62	10,0	169,6	-159,5	0,9	9,1
63	10,3	64,4	-54,0	9,7	0,6
64	9,9	37,9	-27,9	17,0	-7,1

As simulações realizadas apenas nas regiões selecionadas se apresentam como uma boa estratégia de recuperação e reestruturação a ser aplicada em bacias hidrográficas. O objetivo de apresentar os resultados por região é de demonstrar que a adoção das medidas e intervenções pode ser feita separadamente ou em conjunto desde que se tenha uma meta definida para a bacia no que diz respeito à redução de produção de sedimentos, viabilidade econômica associada às práticas aplicadas (o quanto isso custará para ser implementado) e quais os objetivos para a bacia hidrográfica que vai ser aplicada a metodologia proposta nesse trabalho, uma vez que, existem estratégias de cunho mais conservacionista e outras que priorizaram o aumento de áreas para a produção de alimentos. Cabe aos órgãos competentes e aos tomadores de decisão definir as áreas prioritárias de intervenção, de acordo com o que almejam para a bacia hidrográfica.



## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões decorrentes do desenvolvimento desse trabalho, bem como as recomendações para trabalhos futuros são descritas nessa seção. As conclusões serão apresentadas por objetivo específico.

### **Objetivo específico 1:**

Os indicadores de qualidade de solo identificados como possíveis de serem aplicados como condicionantes da produção agrícola sustentável, em escala de bacia hidrográfica, foram: resistência à penetração das raízes, taxa de perda de solo, tolerância à perda de solo, capacidade de retenção de água no solo, compactação do solo. Em função de levantamento e análise dos indicadores, considerando a facilidade e disponibilidade de dados existentes para a composição do indicador, as ferramentas, recursos disponíveis e o tempo de execução desse estudo, selecionaram-se os indicadores individuais tolerância à perda de solo (TPS) e taxa de perda de solo (PS) para compor um único indicador, através da subtração entre eles, denominando-se indicador “TPS-PS”.

### **Objetivo específico 2:**

No presente trabalho, a utilização do indicador TPS-PS demonstrou ser satisfatória em dois propósitos: diagnosticar a bacia quanto à produção de sedimentos e; avaliar o desempenho de alternativas propostas visando à redução de tais taxas, conforme fluxograma representado na figura 8.

Por meio da utilização do indicador TPS-PS e dos seus resultados obtidos, foi possível classificar as regiões da bacia de acordo com a condição de criticidade em relação à perda de solo, sendo classificadas como situação “crítica”, aquelas regiões que as taxas de perda de solo eram maiores que a tolerância à perda de solo, apresentando balanço negativo, e como “não crítica”, as regiões que apresentando o balanço positivo indicavam que a taxa de perda de solo estava dentro dos padrões estabelecidos para garantir a sustentabilidade e fertilidade dos

solos. Após a adoção das alternativas propostas, houve significativa redução de perda de solo em todas as regiões consideradas, sendo que em algumas delas o balanço TPS-PS foi positivo, em outras regiões o balanço permaneceu negativo, ou seja, apresentando-se ainda em condição de crítica, porém com significativa redução na produção de sedimentos.

A metodologia de planejamento participativo adotada como parte do procedimento metodológico proposta no presente trabalho, visando adequar a sua aplicação à realidade local, favoreceu o envolvimento da comunidade no seu desenvolvimento e a aplicação por: especialmente se basear em técnicas de mapeamento participativo; e considerar no processo de planejamento não apenas a dimensão ambiental, mas também a social e econômica e as particularidades locais.

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- Aplicação da metodologia proposta em outras regiões visando a sua validação.
- Inclusão de outros indicadores de sustentabilidade na metodologia proposta, considerando na dimensão ambiental, não somente indicadores físicos de qualidade do solo, mas os químicos e biológicos, e a inclusão de indicadores na dimensão social e econômica. Entre os indicadores a se considerar, destaca-se aqui o aporte de sedimentos a cursos d'água.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR-MENEZES, E. L. Diversidade vegetal: uma estratégia para o manejo de pragas em sistemas sustentáveis de produção agrícola. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 68 p.

ALENCAR, G.V.; MENDONÇA, E.D.; OLIVEIRA, T.S; JUCKSCH,I.; CECON, P.R. Percepção ambiental e uso do solo por agricultores de sistemas orgânicos e convencionais na Chapada de Ibiapaba, Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 217-236, 2013.

ALMEIDA, C.X. **Qualidade física de um latossolo vermelho sob sistema de semeadura direta e cultivo convencional**. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2011.

AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; MATOS, A.T. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Revista Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n 6, p. 1046-1049, 2010.

ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R.; MAIDMENT, D.R. Continuous-time water and sediment-routing model for large basins. **Journal of Hydraulic Engineering**, New York, v. 121, p. 171-183, 1995.

ASSIS, R. L. Desenvolvimento rural sustentável no Brasil: perspectivas a partir da integração de ações públicas e privadas com base na agroecologia. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v. 10, n 1, p. 75-89, 2006.

BALDISSERA, G. C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. Dissertação de mestrado. Pós-graduação de Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, 2005.

BARNES, A.P.; THOMSON, S.G. Measuring Progress Towards Sustainable Intensification: how far can secondary data go?. **Ecological Indicators**, Edinburgh, v.36, p.213-220, 2011.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J. C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, Dec. 2004.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 24, p. 657-688, 2000.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.

BERTONI, D.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Editora Ícone, São Paulo, 1990.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 849- 856, 2003.

BRASIL, 1997 – POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS:BRASIL. **Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2015.

BRASIL, 1991 – POLÍTICA AGRÍCOLA NACIONAL: BRASIL. **Lei Federal 8.171, de 17 de janeiro de 1991**. Dispõe sobre a Política Agrícola. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8171.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8171.htm)>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2015.

BRITO, E. **Estimativa da produção de sedimentos da bacia do Rio Santa Maria da Vitória – Espírito Santo através do modelo matemático Soil and Water Assessment Tool (SWAT)**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia Prática**. 1a ed. Rio de Janeiro: Ed.CPRM, 1994.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

CÔRREA, I. V. **Indicadores de sustentabilidade para agrossistemas em transição agroecológica na região sul do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, 2007.

COSTA, A. F. S.; COSTA, A. N. **Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo**. 1 ed. Vitória: INCAPER, 2015. 152 p.

DARÉ, J. C. **Caracterização da demanda de água em sistemas de irrigação na bacia do Córrego Sossego em Itarana-ES**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2013.

DEXTER, A.R.; YOUNGS, I. M. Soil physics toward 2000. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 24, p. 101- 106, 1992.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de

dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 505-517, 2004.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origem e perspectivas de um novo paradigma**. 2ª ed. Guaíba: Agropecuária, 1999. 157p.

ELLIOTT, J.; FIRBANK, L.G.; DRAKE, B.; CAO, Y.; GOODAY, R. **Exploring the concept of sustainable intensification**. LUPG – Land Use Policy Group. UK, ADAS: 2013.

EMBRAPA. **Visão 2014-2034: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira – Síntese**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 289 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FIRBANK, L.G.; ELLIOTT, J.; DRAKE, B.; CAO, Y.; GOODAY, R. Evidence of Sustainable Intensification Among British Farms. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Wolverhampton, v.173, p.58-65, 2013.

FRANKS, J.R. Sustainable Intensification: a UK perspective. **Food Policy**, United Kingdom, v. 47, p. 71-80, 2014.

FUKUNAGA, D. C. **Estimação de vazão em bacias hidrográficas do sul do Espírito Santo usando o SWAT**. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

GALINDO, I.C.; MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p. 95- 100, 1989.

GALLINA, K.L. **Enquadramento de corpos de água em pequenas e microbacias hidrográficas rurais de base agrícola familiar: subsídios à elaboração da fase diagnóstica.** Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

GARNETT, T.; APPLEBY, M. C.; BALMFORD, A.; BATEMAN, I. J.; BENTON, T. G.; BLOOMER, P.; BURLINGAME, B.; DAWKINS, M.; DOLAN, L.; FRASER, D.; HERRERO, M.; HOFFMANN, I.; SMITH, P.; THORNTON, P. K.; TOULMIN, C.; VERMEULEN, S. J.; GODFRAY, H. C. J. Sustainable Intensification in Agriculture: premises and policies. **Policy Forum**, London, v.341, p.33-34, 2013.

GARNETT, T.; GODFRAY, H.C.J. Sustainable Intensification in Agriculture – Navigating a course through competing food system priorities. **Oxford University**, 2012.

GEARH – GRUPO DE ESTUDOS E AÇÕES EM RECURSOS HÍDRICOS. **Desenvolvimento de instrumento para a gestão de recursos hídricos no Norte do Espírito Santo – GEARH-NES.** GEARH-DEA-CT-UFES. Relatório Final – MCT/FINEP/CT-HIDRO, V.1, 2003.

GEOBASES – **Sistema Integrado de Bases Espaciais do Estado do Espírito Santo.** Base cartográfica disponibilizada em 2012. Disponível em: <<http://www.geobases.es.gov.br/portal/>>.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia – Processos Ecológicos em Agricultura Sustentável.** Porto Alegre: UFRGS, 2005. 653p.

GREGORICH, E.G. Quality. In: LAL, R., ed. Encyclopedia of soil science. New York, Marcel Dekker, 2002. p.1058- 1061.

GUERRA, S. C. S. **Subsídio ao aprimoramento do manejo da irrigação de consórcios agroflorestais em situação de escassez hídrica.** Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

GUERRA, J. A. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2009. 396p..

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. **Mapa de regiões climaticamente homogêneas no Estado do Espírito Santo**. Disponível em: < <http://incaper.es.gov.br/publicacoes>>. Acesso em: fevereiro, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Estação 86803 – Aimorés/MG**. Site consultado para obtenção de dados da estação: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: março, 2015.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa de erosão do Estado de São Paulo**. 1ª ed. São Paulo, 1990.

KASSIE, M.; TEKLEWOLD, H.; JALETA, M.; MARENIA, P.; ERENSTEIN, O. Understanding the adoption of a portfolio of sustainable intensification practices in eastern and southern Africa. **Land Use Policy**, Kenya, v. 42, p. 400-411, 2015.

KÖPPEN, W. P. Das geographische system der klimate. In: KÖPPEN, W. P. (Org.); GEIGER, R. O. R. W. G. (Colaborador). **Handbuch der Klimatologie**. Gebr Borntraeger, p. 1-44, 1936.

KUMMER, L. Metodologia participativa no meio rural: uma visão interdisciplinar. Salvador: GTZ, 2007. 155p.

LABORATÓRIO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E DESENVOLVIMENTO REGIONAL– LABGEST. **Estudo da relação entre produtividade agrícola e volume de água aplicada na irrigação na bacia experimental do Córrego Sossego – ES**. Fundação Espírito-santense de Ciência e Tecnologia - FAPES. Relatório final de pesquisa. 2010d.



LAGROTTI, C. A. A. **Planejamento Agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim – SP: Estudo de caso na microbacia hidrográfica do Córrego do Jardim**. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de Bacias Hidrográficas: Aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; SANTOS, E.J.; RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo-Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I – Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1033-1044, 2004.

LI, L.; DU, S.; WU, L.; LIU, G. An overview of soil loss tolerance. **Catena**, Amsterdam, v. 78, n. 2, p. 93-99, August, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2009.03.007>>. Acesso em: 02 fev. 2016.

LIMA, G. **Avaliação de métodos de manejo de irrigação em pequenas propriedades rurais de base familiar**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terras para solos do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975, 12p. (Boletim Técnico, 28).

LOPES, N. H. Y. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. Dissertação de mestrado. Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

LOPES, M. E. P. de A. **Avaliação de racionalidade do uso da água na agricultura: desenvolvimento de modelos conceituais e de procedimento metodológico em apoio à co/auto-Gestão de microbacia**. 2011. 406 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2011.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Tese de doutorado. Departamento de Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2002.

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 735-741, 2003.

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27, p. 727-733. Piracicaba, 2003.

MANNINGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erododibilidade e tolerância de perda de solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; JÚNIOR, G. B. M. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 295-301, 2001.

MATZENAUER, H. B. **Uma metodologia multicritério construtivista de avaliação de alternativas para o planejamento de recursos hídricos da bacias hidrográficas**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MINELLA, J. P. G. **Utilização de técnicas hidrossedimentométricas combinadas com a identificação de fontes de sedimentos para avaliar o efeito do uso e manejo do solo nos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica rural no Rio Grande do Sul**. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

MINOTI, R. T. **Abordagens Qualitativa e Quantitativa de Micro-bacias Hidrográficas e Áreas Alagáveis de um Compartimento do Médio Mogi-Superior / SP.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2006.

MORO, M. **A utilização da interface SWAT-SIG no estudo de produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos.** Dissertação de Mestrado em Agronomia. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. C.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R.; KING, K. W. (2002a). **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation.** Version 2000. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, USA.

NETO, J. G. C. **Simulação hidrossedimentológica da bacia do riacho dos namorados com o modelo SWAT.** Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, 2011.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 291-299, 2003.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia Aplicada.** 4a ed. Piracicaba: Ed.FEALQ, 2011.

OLIVEIRA, L.T.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S., LOOS, R. A.; SRINIVASAN, R. CAIADO, M. A. C. Calibration of the SWAT model for a watershed in Aracruz, ES, with the predominant land use eucalyptus. In: **SWAT 2014 Conference**, 2014, Recife. SWAT 2014-Conference, 2014. v. 1, p.9.

OMER, A.; PASCUAL, U.; RUSSEL, N. A Theoretical Model of Agrobiodiversity as a Supporting Service for Sustainable Agricultural Intensification. **Ecological Economics**, United Kingdom, v.69, p. 1926-1933, 2010.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos Hídricos, Agricultura Irrigada e Meio Ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, v.4, p. 465-473, 2000.

POLONI, D.M. **Desenvolvimento e aplicação de procedimento metodológico em suporte ao planejamento participativo para a redução de perda de solo em pequenas bacias hidrográficas com emprego da EUPS**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

POÇA, R. R. **Indicadores químico, físico e etnopedológico de qualidade do solo em áreas em recuperação na Amazônia Oriental**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Agriculturas Amazônicas. Universidade Federal do Pará, 2012.

PRETTY, J.; TOULMIN, C.; WILLIAMS, S. *Sustainable intensification in African agriculture*. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 9, p. 5-24, 2011.

PROJETO RADAMBRASIL - **Levantamento de Recursos Naturais**. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. v. 34, Folha SE 24 Rio Doce. Rio de Janeiro: IBGE, 1987. 554 p.

REZENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5ª ed. Lavras: Ed. UFLA, 2007. 322p.

RIBEIRO, A. P. L. **Aperfeiçoamento do emprego da equação universal de perda de solo na aplicação do pagamento por serviços ambientais na política espírito-santense de recursos hídricos**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

RIBEIRO, J. C.; SALOMÃO, F. X. T. Abrodagem morfopedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia hidrográfica do alto do Rio Casca, MT. São Paulo, **Geociências**, v. 22, n. 1, p. 83-95, 2003.

ROSS, J. L.S **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 2005. 8ed. São Paulo: Contexto, (Repensando a Geografia). 85p.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, T.A.J.; SILVA, A.S. & BOTELHO, R.G. (Organizadores), **Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 229-265.

SALTON, J.C.; MERCANTE, F.M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J.A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W.M.; RETORE, M. Integratedcop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SANTI, A. L.; FLORA, L. P. D. Monitoramento da compactação do solo em áreas de lavoura através do mapeamento da resistência à penetração. **Revista Plantio Direto**, v.96, 2006.

SILVA, A. M; SCHULZ, H.E; CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. 2a ed. São Carlos: Ed.Rima, 2007. 105p.

SMITH, D.D. Interpretation of soil conservation data for field use. **Agr. Eng.**, n. 22, p. 173-175, 1941.

TAMIOSSO, M. F. **Avaliação do método Silveira com uso de dois modelos chuva-vazão para estimativa de disponibilidade hídrica em pequenas bacias com pequena amostragem de vazão**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

TEIXEIRA, E. C., LOPES, M. E. P. de A, GIRARDI, G., OLIVEIRA, S. de, QUARENTEI, L. M. Experiência prática em subsídio a novas alternativas de uso/gestão da água na agricultura irrigada: o caso do Projeto Sossego, Itarana-ES. In: **CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 9, & CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39.**

2010, Vitória-ES. Anais 2010. Vitória- ES: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola – SBEA, 2010.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica local. **Revista UNIARA**, n. 20, p. 137-156, 2007.

TOPP, G.C.; REYNOLDS, F.J.; COOK, J.M.; KIRBY, J.M.; CARTER, M.R. Physical attributes of soil quality. In: GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R. (eds.) Soil quality for crop production and ecosystem health. **Developments in Soil Science**, Amsterdam, p. 21-58, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, 1993.

UZEIKA, T. **Aplicabilidade do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural**. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

VANLAUWE, B.; COYNE, D.; GOCKOWSKI, J.; HAUSER, S.; HUISING, J.; MASSO, C.; NZIGUHEBA, G.; SCHUT, M.; ASTEN, P. V. Sustainable Intensification and the African Smallholder. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Kenya, v.8, p. 15-22, 2014.

VAYSSIÈRES, J.; VIGNE, M.; ALARY, V.; LECOMTE, P. Integrated Participatory Modelling of Actual Farms to Support Policy Making on Sustainable Intensification. **Agricultural systems**, v. 104, p. 146-161, 2011.

WILLIAMS, J. R. Sediment-yield prediction with Universal Equation using Runoff Energy Factor. **Transactions of the ASAE**. Vol. 12, 100-103, 1975.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.26, n.5, p.189-193, 1971.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**. Washington: U.S. Department of Agriculture. 47. (Agriculture Handbook, n. 282), 1965.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58 p. (USDA. Agricultural Handbook, 537).

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.891-900, 2004.

XAVIER, F. V.; CUNHA, K. L.; SILVEIRA, A.; SALOMÃO, F. X. T. Análise da suscetibilidade à erosão laminar na bacia do Rio Manso, Chapada dos Guimarães, MT, utilizando sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, p. 51-60, 2010.

ZOREL, D. **Atributos químicos e microbiológicos de solo cultivado com a cana-de-açúcar sob manejo convencional e orgânico**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural, Universidade Federal de São Carlos, 2011.

## APÊNDICE

### A) -Tabela com a descrição das equações utilizadas para obtenção dos parâmetros climáticos para a Estação Meteorológica de Aimores-MG.

Parâmetro	Equação	Descrição
<b>Temperatura média máxima diária (TMPMX)</b>	$\mu mx_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{mx,mon}}{N}$	Onde: $\mu mx_{mon}$ representa a temperatura média máxima (°C), $T_{mx,mon}$ é a temperatura máxima diária $d$ no mês (°C) e $N$ é o número total de registros das temperaturas máximas por mês.
<b>Desvio padrão para a temperatura média máxima diária (TMPSTDMX)</b>	$\sigma mx_{mon} = \sqrt{\left( \frac{\sum_{d=1}^N (T_{mx,mon} - \mu mx_{mon})^2}{N - 1} \right)}$	Onde: $\sigma mx_{mon}$ representa o desvio padrão para a temperatura média máxima diária, $\mu mx_{mon}$ representa a temperatura média máxima (°C), $T_{mx,mon}$ é a temperatura máxima diária $d$ no mês (°C) e $N$ é o número total de registros das temperaturas máximas por mês.
<b>Temperatura média mínima diária (TMPMN)</b>	$\mu mn_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{mn,mon}}{N}$	Onde: $\mu mn_{mon}$ representa a temperatura média mínima (°C), $T_{mn,mon}$ é a temperatura mínima diária $d$ no mês (°C) e $N$ é o número total de registros das temperaturas mínimas por mês.
<b>Desvio padrão para a temperatura média mínima diária (TMPSTDMX)</b>	$\sigma mn_{mon} = \sqrt{\left( \frac{\sum_{d=1}^N (T_{mn,mon} - \mu mn_{mon})^2}{N - 1} \right)}$	Onde: $\sigma mn_{mon}$ representa o desvio padrão para a temperatura média mínima diária, $\mu mn_{mon}$ representa a temperatura média mínima (°C), $T_{mn,mon}$ é a temperatura mínima diária $d$ no mês (°C) e $N$ é o número total de registros das temperaturas mínimas por mês.



Parâmetro	Equação	Descrição
<b>Precipitação média mensal (PCPMM)</b>	$\bar{R}_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N R_{day,mon}}{yrs}$	Onde: $\bar{R}_{mon}$ é a precipitação média mensal (mm H <sub>2</sub> O), $R_{day,mon}$ representa a precipitação máxima no mês (mm H <sub>2</sub> O), N é o número total de registros no mês e yrs é o número de anos de registros diários de precipitação.
<b>Desvio padrão para a precipitação média mensal (PCPSTD)</b>	$\sigma_{mon} = \sqrt{\frac{\sum_{d=1}^N (R_{day,mon} - \bar{R}_{mon})^2}{N - 1}}$	Onde: $\sigma_{mon}$ é o desvio padrão para a precipitação média mensal, $\bar{R}_{mon}$ é a precipitação média mensal (mm H <sub>2</sub> O), $R_{day,mon}$ representa a precipitação máxima no mês (mm H <sub>2</sub> O) e N é o número total de registros no mês.
<b>Coeficiente de assimetria para a precipitação (PCPSKW)</b>	$g_{mon} = \frac{N \cdot \sum_{d=1}^N (R_{day,mon} - \bar{R}_{mon})^3}{(N - 1) \cdot (N - 2) \cdot (\sigma_{mon})^3}$	Onde: $g_{mon}$ é o coeficiente de assimetria para a precipitação, N é o número total de registros de precipitação no mês, $R_{day,mon}$ representa a precipitação máxima no mês (mm H <sub>2</sub> O), $\bar{R}_{mon}$ é a precipitação média mensal (mm H <sub>2</sub> O) e $\sigma_{mon}$ é desvio padrão para a precipitação diária no mês.
<b>Probabilidade de um dia de chuva após um dia seco no mês (PR_W1)</b>	$P_i(W/D) = \frac{days_{(W/Di)}}{days_{dry,i}}$	Onde: $P_i(W/D)$ é a probabilidade de um dia de chuva após um dia seco no mês, $days_{(W/Di)}$ é o número de vezes que ocorreram dias de chuva após dias secos e $days_{dry,i}$ é o número de registros de dias secos no mês.